समस्त गतियां सापेक्ष हैं

विनय. बी. काम्बले



विज्ञान प्रसार

प्रकाशक

विज्ञान प्रसार

सी-24, कुतुब इंस्टीट्यूशनल एरिया
नई दिल्ली-110 016
पंजीकृत कार्यालय : टेक्नोलॉजी भवन, नई दिल्ली-110 016
फोन : 26864022, 26864103, 26864157
फैक्स : 26965986
इंटरनेट : http://www.vigyanprasar.com
ई-मेल : vigyan@hub.nic.in

प्रथम संस्करण : 2005
पुनर्मुद्रण : 2006

समस्त गतियां सापेक्ष हैं

लेखक : विनय बी. काम्बले
हिन्दी संपादन : सुबोध महंती, हरिकृष्ण देवसरे
पृष्ठ योजना : सुभाष भट्ट
निर्माण समन्वय : सुमिता सेन

ISBN : 81-7480-116-2

मूल्य : 15 रुपए

मुद्रक : सीता फाइन आर्ट्स प्राइवेट लिमिटेड, नई दिल्ली-28

विश्व भौतिकी वर्ष

सन् 2005 को संयुक्त राष्ट्र ने 'विश्व भौतिकी वर्ष' घोषित किया है, क्योंकि इस वर्ष आइंस्टीन के सापेक्षता सिद्धांत की शताब्दी मनाई जा रही है। अल्बर्ट आइंस्टीन का सुप्रसिद्ध शोध–पत्र 'ऑन द इलैक्ट्रो डाइनेमिक्स ऑफ मूविंग बॉडीज़' अर्थात् 'चलायमान पिंडों की विद्युत्गतिकी' 'एनालीन डेर फिजिक' नामक जर्मन के वैज्ञानिक जर्नल में सन् 1905 में ही प्रकाशित हुआ था। जब न्यूटन ने 'गति' और 'सार्वभौमिक गुरुत्व' के नियम प्रतिपादित किए थे, उसके सदियों बाद सापेक्षता सिद्धांत ही भौतिकी के इतिहास में एक क्रांतिकारी वैज्ञानिक सिद्धांत सिद्ध हुआ। अब पूरी एक सदी से सापेक्षता सिद्धांत – विशिष्ट और सामान्य–काल की कसौटी पर खरा उतरता आया है और आज भी मानव–मस्तिष्क का महानतम सृजन बना हुआ है, जिसके आधार पर हम प्रकृति को उसके सही परिप्रेक्ष्य में समझ सकते हैं।

सन् 2005 केवल सापेक्षता सिद्धांत का ही शताब्दी वर्ष नहीं है, बल्कि भौतिकी के उस स्वर्णिम दशक का भी शताब्दी वर्ष है, जब 1895 से 1905 के बीच भौतिकी की कुछ अन्यतम खोजें की गई थीं। उदाहरण के लिए 1895 में एक्स–रे की खोज, 1896 में रेडियो सक्रियता और ज़ीमान प्रभाव की खोज, 1897 में इलैक्ट्रोन, सन् 1900 में प्रकाशविद्युतीय प्रभाव की व्याख्या और अंततः 1905 में सापेक्षता सिद्धांत। इसी अवधि में अटलांटिक महासागर के आर–पार रेडियो–संदेश भेजे जा सके और अयनमंडल (आयनोस्फीयर) के अस्तित्व का पता चला। इसमें कोई संदेह नहीं कि इस स्वर्णिम दशक के ताज का हीरा सापेक्षता सिद्धांत ही है। वैसे प्रत्येक आविष्कार अपने आप में अत्यंत महत्वपूर्ण है और सामूहिक रूप से इन खोजों ने जिसे हम 'आधुनिक भौतिकी' कहते हैं, उसकी नींव रखी।

उस जमाने के शास्त्रीय भौतिकी के पंडितों ने दावा किया कि भौतिकी में जो भी नई खोजें हो सकती थीं, वे हो चुकी और इससे आगे भौतिकी बस अधिकाधिक सही नाप–जोख तक सीमित रह जाएगी। उनका यह दावा कुछ हद तक सही निकला क्योंकि इससे अगले दशक में वायु के घटकों को मापा गया, लेकिन इसी के दौरान 'आर्गन गैस की खोज' भी हो गई। सन् 1895 के आस–पास प्रगति के विशाल क्षितिज उद्घाटित हुए और जो सिद्धांत प्रयोगों से पूरी तरह पुष्ट लग रहे थे उनको या तो प्रश्नचिन्ह लगे या प्रत्यक्ष रूप से उनका प्रतिवाद किया गया। उदाहरण के लिए हर्ट्ज के प्रयोगों से मैक्सवैल के प्रकाश संबंधी विद्युत् चुम्बकीय सिद्धांत की आधारभूत प्रकृति तो निर्विवाद रूप से प्रदर्शित हुई, लेकिन संयोगवश हर्ट्ज के इन्हीं प्रयोगों से 'प्रकाश विद्युतीय प्रभाव' की नई खोज प्रकाश में आई जिसने 'क्वांटम सिद्धांत' की स्थापना में महत्वपूर्ण भूमिका निभाई।

सन् 1896 से 1905 के दशक में जिन लोगों ने भौतिकी में बुनियादी खोजें की, उनसे जुड़ी घटनाओं के वर्णन से अधिक रोमांचक, ज्ञानवर्द्धक और उत्साहजनक कहानी और कोई नहीं हो सकती। आधुनिक विज्ञान के इन निर्माताओं के जीवन में झांककर हमें उनके दृष्टिकोण और तरीकों, प्रतिबद्धता और त्याग का तो पता चलेगा ही, साथ ही हम यहभी जन सकेंगे कि उनके अंदर कितनी विकट उत्कंठा थी कि अपने ज्ञान को दूसरों से बांटें। इससे विज्ञान की प्रक्रिया और विधियों पर भी प्रकाश पड़ता है। बैक्वीरल ने रेडियो सक्रियता की जो खोज की वह इसका अनुपम उदाहरण है कि विज्ञान की विधि किस तरह काम करती है। इससे पता चलता है कि खोज कोई घटना होने की बजाय एक प्रक्रिया अधिक है।

ऊपर विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी के इतिहास के कुछ पन्ने ही उजागर किए गए हैं, जिन्होंने हमारी आज की जिंदगी पर गहरा असर डाला है। यह कहानी वैज्ञानिकों के लिए ही नहीं, आम आदमी के लिए भी बड़ी प्रेरक और ज्ञानवर्द्धक है। उन लोगों को तुरंत ही मान्यता नहीं मिली। उन्हें भी संघर्ष करना पड़ा और दुर्भाग्य तथा असफलता का सामना करना पड़ा। लेकिन एक बात इन सभी वैज्ञानिकों में मिली कि वे जो भी कुछ करते थे, उसके पीछे सकारात्मक सोच और वैज्ञानिक दृष्टिकोण रहता था।

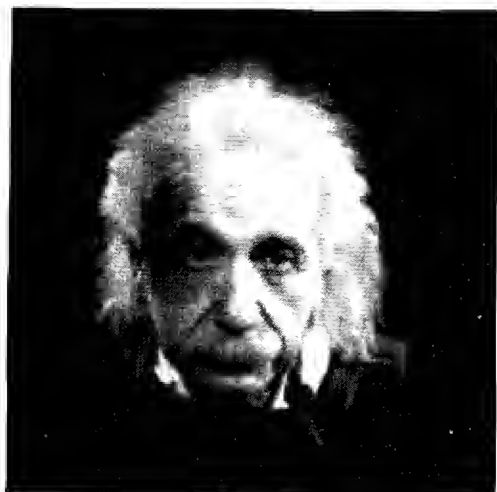
इस प्रकार 'भौतिकी वर्ष' मनाने का मतलब है, उस स्वर्णिम दशक के 100 वर्षों को याद करना। इससे हमें इन खोजों के बुनियादी वैज्ञानिक पहलू के प्रसार का अनूठा अवसर मिलेगा और हम जान सकेंगे कि इन खोजों ने हमारे जीवन को किस तरह बदला है। हम इस बहाने से वैज्ञानिक विधि तथा वैज्ञानिक दृष्टिकोण को भी आम लोगों में प्रसारित कर सकेंगे। 'विश्व भौतिकी वर्ष' मनाने के लिए दुनिया भर में असंख्य कार्यक्रम, सम्मेलन और उत्सवों का आयोजन किया जा रहा है। एनसीएसटीसी (राष्ट्रीय विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी संचार परिषद) तथा अन्य संस्थाओं के साथ मिलकर 'विज्ञान प्रसार' (वि.प्र.) ने आधुनिक भौतिकी के निर्माताओं के जीवन और कार्य से जुड़े अनेक कार्य–कलापों की योजना बनाई है। इसके साथ ही इनसे संबंधित अनेक प्रकार के सॉफ्टवेयर, प्रकाशन, फिल्में, रेडियो और टी.वी. कार्यक्रम, प्रशिक्षकों के प्रशिक्षण के लिए स्रोत सामग्री इत्यादि बनाने का भी निश्चय किया है।

विनय बी. काम्बले
निदेशक, विज्ञान प्रसार

समस्त गतियां सापेक्ष हैं

अलबर्ट आइंस्टीन

अलबर्ट आइंस्टीन (14 मार्च 1879-18 अप्रैल 1955) हर्मन और पौलिन आइंस्टीन के प्रथम पुत्र थे। वह म्युनिख़ में बड़े हुए। वहां उनके पिता और चाचा एक छोटा सा विद्युत-रासायनिक संयंत्र संचालित करते थे। आइंस्टीन कोई विशेष प्रखर नहीं थे। सच कहा जाए तो उन्हें स्कूली अनुशासन नापसंद था। आइंस्टीन जब केवल चार साल के थे तो उनके पिता ने उन्हें कौतूहल जगाने वाला एक कुतुबनामा दिया, उनके चाचा ने उन्हें बीजगणित पढ़ाई और उन्हें



अलबर्ट आइंस्टीन

अपने समय के लोकप्रिय वैज्ञानिक कार्यों से संबंधित पुस्तकें पढ़ने को मिलीं। इन वजहों से वह काफी कम उम्र में ही विज्ञान में रुचि लेने लगे। बारह वर्ष की उम्र में उन्होंने रेखागणित की एक पुस्तक काफी लगन से पढ़ी, और उसने उन पर खास तौर से गहरा असर डाला।

व्यापार में असफलता मिलने पर जब उनका परिवार मिलान चला आया तो 15 वर्षीय आइंस्टीन को अपनी पढ़ाई जारी रखने के लिए म्युनिख़ में ही छोड़ दिया गया। आइंस्टीन को स्कूल पसंद नहीं आया। उन्होंने उसे छोड़ दिया और साल भर तक पेरिस में

जीवन का आनंद उठाते रहे। जीविका के लिए कोई व्यवसाय अपनाने को प्रेरित किए जाने पर आइंस्टीन ने अरारू, स्विट्जरलैंड की तकनीकी स्कूल में प्रशिक्षण लिया और ज्युरिख़ स्थित एडिगेनोसिके टेक्निसके हाकस्कूले (पालिटेक्निक, में गणित और शिक्षक बनने के इरादे से भौतिकी का अध्ययन किया।

स्नातक बनने के बाद आइंस्टीन को दो साल तक कोई स्थायी काम नहीं मिल सका और वह स्विट्जरलैंड के पेटेंट आफिस में परीक्षक नियुक्त किए जाते समय ट्यूशन करते रहे एवं वैकल्पिक शिक्षक के रूप में पढ़ाते रहे। पेटेंट आफिस में काम के सात सालों के दौरान आइंस्टीन को वैज्ञानिक कार्यों के लिए केवल शाम का और रविवार का समय ही मिल पाता था। उन्हीं सालों में आइंस्टीन ने बीसवीं सदी की भौतिकी के एक बड़े हिस्से की आधारशिला रखी। वे शायद उनके जीवन के सबसे प्रसन्नता भरे वर्ष थे। उन्हें यह अच्छा लगता था कि उनका काम भौतिकी संबंधी उनके विचारों से बिल्कुल भिन्न था। इस वजह से वह अपने विचारों के अनुसार, पूरी तरह स्वतंत्र और स्वायत्त ढंग से काम कर सकते थे। वह दूसरों को भी यही तरीका अपनाने का सुझाव देते थे। सन् 1903 में आइंस्टीन ने एक सर्बियाई लड़की मिलेवा मैरिक से शादी की। वह म्यूनिख़ में उनकी सहपाठी रह चुकी थी। स्विट्जरलैंड में उनके दो लड़के भी हुए।

आइंस्टीन को डाक्टरेट की उपाधि सन् 1905 में ज्युरिख़ विश्वविद्यालय से मिली। उनकी थीसिस का विषय था - "एइने नेइये बेस्टिमनंग डेर मोलेकुल्डि में सिओनेन" (आणविक आयामों का एक नया निर्धारण)। यह काम ब्राउनी-गति के बारे में किए गए उनके अध्ययन के काफी करीब था। आइंस्टीन के काम को अकादमिक क्षेत्रों में कुछ ही सालों में मान्यता मिल गई और उसके बाद उनके सामने पदों को स्वीकार करने के लिए प्रस्तावों की भीड़ लग गई। उनकी पहली नियुक्ति सन् 1909 में ज्युरिख़ विश्वविद्यालय में भौतिकी के एसोसिएट प्रोफेसर (एक्स्ट्राआर्डिनेरियस) के रूप में हुई। उसके कुछ ही समय बाद वह सन् 1911 में प्राग के जर्मन विश्वविद्यालय में और सन् 1912 में ज्युरिख़ के पालिटेक्निक में प्रोफेसर नियुक्त हुए। सन् 1914 के बसंत के मौसम में आइंस्टीन प्रशियन एकैडेमी आफ साइंसेज के सदस्य और कैसर विल्हेल्म इंस्टीट्यूट फार फिजिक्स के निदेशक के तौर पर बर्लिन चले गए। विश्वविद्यालय में व्याख्यान देने या न देने का निर्णय उन्हीं पर छोड़ दिया गया था। आइंस्टीन को बर्लिन का वैज्ञानिक वातावरण काफी प्रेरणादायक लगा। उन्हें मैक्स प्लैंक, वाल्दर नर्नस्ट और बाद में एर्विन स्कौंडिंजर तथा मैक्स वान लौए जैसे सहकर्मी मिले। आइंस्टीन ने उनके संसर्ग का पूरा आनंद उठाया। सापेक्षता के सामान्य सिद्धांत के संदर्भ में आइंस्टीन का वैज्ञानिक कार्य प्रथम विश्व युद्ध के दौरान अपनी पराकाष्ठा पर पहुंच चुका था, लेकिन उनका व्यक्तिगत जीवन सुचारू ढंग से नहीं चल रहा था।

मिलेवा आइंस्टीन और उसके दोनों पुत्र युद्धकाल में स्विट्जरलैंड में रह रहे थे। युद्ध की समाप्ति के बाद जल्दी ही आइंस्टीन दंपति में तलाक हो गया। उसके बाद आइंस्टीन ने अपनी रिश्ते की एक विधवा बहन, और दो बच्चियों की मां एल्सा से शादी की। आइंस्टीन की सेहत पर भी बुरा असर पड़ा था। उन्हें सांत्वना देने वाली बात केवल इतनी थी कि हालैंड में रहे रहे अपने मित्रों पौल एहरेनफेस्ट और एच.ए. लारेंट्ज; विशेषकर लारेंट्ज से उनका पत्र व्यवहार जारी था, और वह उनसे कभी-कभी मिल भी लिया करते थे। लारेंट्ज

के बारे में उनका कहना था कि "अपने जीवन काल में मैं जिन लोगों से मिला हूं, उनमें से किसी की भी तुलना में व्यक्तिगत रूप से उनका महत्व मेरे लिए अधिक है। आइंस्टीन उन्हें अपने समय का महानतम और श्रेष्ठतम व्यक्ति मानते थे।"

आइंस्टीन उस समय एकाएक विश्वप्रसिद्ध हो गए जब उनके सापेक्षता सिद्धांत की भविष्यवाणी के अनुसार, सन् 1919 के सूर्यग्रहण के दौरान सूर्य के पास से गुजरने वाले प्रकाश में विचलन देखा गया। उनका नाम और सापेक्षता शब्द घर-घर में पहुंच गया। प्रसिद्धि, और कुप्रसिद्धि ने आइंस्टीन के जीवन का ढर्रा ही बदल डाला।

सन् 1933 में आइंस्टीन अपना समय बर्लिन और प्रिंस्टन के न्यू इंस्टीट्यूट फार ऐडवांस्ड स्टडीज के बीच बांटने के बारे में सोच रहे थे, लेकिन जैसे ही जर्मनी में हिटलर सत्ता में आया, उन्होंने प्रशियन एकैडेमी के अपने पद से फौरन त्यागपत्र दे दिया और इंस्टीट्यूट में नियुक्ति स्वीकार कर ली। उनके जीवन के बाकी बाइस सालों में प्रिंस्टन ही उनका घर बन गया। सन् 1940 में वह अमरीकी नागरिक बन गए।



हेंड्रिक एंटून लोरेंट्ज

चौथे दशक में आइंस्टीन इस निष्कर्ष पर पहुंच चुके थे कि हिटलर के शासन के कारण मानव सभ्यता पर मंडरा रहे बरबादी के खतरे को शक्ति से ही रोका जा सकता था। सन् 1939 में लियो स्ज़िलर्ड, एडवर्ड टेलर, और यूजीन विजनर के आग्रह पर उन्होंने राष्ट्रपति फ्रैंकलिन डी. रुजवेल्ट को आगाह करने वाला एक पत्र लिखा। उसमें नाभिकीय विखंडन में निहित विनाशकारी सन्य आशंकाओं संभावनाओं का जिक्र करते हुए जर्मनी द्वारा नाभिकीय अस्त्रों के विकास की आशंका जताई गई थी। इस पत्र ने नाभिकीय रिएक्टर के निर्माण, एवं उसके परिणामस्वरूप विखंडन बम के विकास के लिए अमरीका को प्रेरित करने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाई, लेकिन आइंस्टीन स्वयं इस अभियान में न तो शामिल थे, ओर न ही उसके बारे में कुछ जानते थे।

आइंस्टीन को अपने जीवन में अनेक सम्मान मिले। सन् 1921 में उन्हें भौतिकी का नोबेल पुरस्कार मिला तो विज़मैन की मृत्यु के बाद सन् 1952 में उन्हें इज़राइल राष्ट्रपति बनने के लिए आमंत्रित किया गया। हालांकि उन्होंने यह प्रस्ताव स्वीकार नहीं किया।

आइंस्टीन ने अपने अंतिम दिनों में नाभिकीय अस्त्रों के परित्याग और युद्ध की समाप्ति के लिए तैयार की गई अपील पर हस्ताक्षर किया। वह उन दिनों इज़राइल और मिस्र के बीच व्याप्त तनाव पर एक भाषण भी तैयार कर रहे थे, तभी उन्हें एयोर्टिक एनेयूरीज्म का दौरा पड़ा और उसके कुछ ही दिनों बाद उनकी मृत्यु हो गई। लेकिन विश्व की समस्याओं से सरोकार रखने और उनके निदान के लिए हर संभव प्रयास करने के बावजूद उनकी अंतिम वफादारी विज्ञान के प्रति ही थी। एक बार उन्होंने राजनीति पर चल रही बहस के दौरान गहरी सांस लेते हुए अपने एक सहायक से कहा था, "हां, वक्त को राजनीति और हमारे समीकरणों के बीच बांटा जाना चाहिए। लेकिन मेरे लिए हमारे समीकरणों का अधिक महत्व है, क्योंकि राजनीति हमारा वर्तमान है, पर समीकरणों का शाश्वत महत्व है।


अलबर्ट अब्राहम माइकेल्सन

आइंस्टीन ने पहले सांख्यिकी यांत्रिकी और अंतरआणविक बलों में रुचि ली। लेकिन अपने पूरे कैरियर के दौरान उनका मुख्य प्रयास भौतिकी की सभी शाखाओं के लिए एक एकीकृत आधार तलाशना था। पृथक अस्तित्व रखने वाली कणिकाओं और अबाधित ढंग से वितरित विद्युत-चुंबकीय क्षेत्र के बीच की असमानता सर्वप्रथम लारेंट्स (सन् 1853-1928) के इलेक्ट्रान सिद्धांत में स्पष्ट रूप से उभर कर सामने आई। इस सिद्धांत में द्रव्य और क्षेत्र के बीच पहली बार प्रखर विभाजन किया गया था। इस सिद्धांत का आइंस्टीन पर गहरा प्रभाव पड़ा था। कई महत्वपूर्ण बिंदुओं पर यांत्रिकी और विद्युत-चुंबकीय सिद्धांत के बीच की असंगतता के कारण उत्पन्न समस्याओं ने उनका ध्यान आकर्षित किया। इन समस्याओं को सुलझाने की उनकी कोशिशों ने सन् 1905 में उनके शुरुआती दौर के सबसे महत्वपूर्ण काम - सापेक्षता के विशेष सिद्धांत और क्वांटा सिद्धांत को जन्म दिया।

एक्स-किरणों, रेडियोधर्मिता, इलेक्ट्रान और क्वांटम सिद्धांत की खोज ने पारमाविक धरातल पर घटित होने वाली परिघटना के बारे में हमारे विचारों और समझ में भारी परिवर्तन ला दिया। लेकिन दिक्, काल और ब्रह्मांड संबंधी हमारी समझ के विस्तार के साथ भौतिकी की दुनिया में और व्यापक स्तर पर बदलाव आ रहे थे। यह क्रांति लाने का श्रेय आइंस्टीन को था। यह प्रखर और रचनाशील मस्तिष्क वाला सिद्धांतकार एक मात्र ऐसा विचारक था, जिसे न्यूटन की श्रेणी का माना जाता है। इस क्रांति को समझने के लिए हमें जेम्स क्लर्क मैक्सवेल (सन् 1831-1879), और प्रकाश के बारे में उसके विचारों की ओर लौटना होगा।

ईथर – अखंडित अंतरातारकीय द्रव्य

मैक्सवेल ने क्रांतिकारी समीकरणों का एक समूह प्रस्तुत किया। उनमें भविष्यवाणी की गई थी कि चुंबकीयता, विद्युत और प्रकाश एक ही वर्णक्रम के अंग हैं। उसने यह मत प्रतिपादित किया कि प्रकाश कणिका नहीं, तरंग है। उसका विचार था कि प्रकाश तरंगें अंतरिक्ष में भरे एक अदृश्य माध्यम से होकर यात्रा करती हैं। उसने इस माध्यम को "ईथर" नाम दिया। लेकिन भौतिकविज्ञानियों को इसमें एक समस्या नज़र आई। यह समस्या मैक्सवेल के विद्युत-चुंबकीय क्षेत्र सिद्धांत को लेकर नहीं, बल्कि ईथर संबंधी उसकी अवधारणा को लेकर थी।

इस विचार को सबसे पहले मैक्सवेल ने प्रस्तुत नहीं किया था कि 'दो सितारों के बीच अखंडित' रूप से विद्यमान ईथर नामक अदृश्य माध्यम विशाल अंतरिक्ष को भरता है। इस विचार की जड़ें प्राचीन यूनानियों के काल तक फैली हुई हैं। मैक्सवेल ने सन् 1873 में एक भाषण में कहा, "इसमें कोई संदेह नहीं है कि अंतरातारकीय और अंतराग्रहीय अंतरिक्ष खाली नहीं है, बल्कि एक ऐसे पदार्थ से भरा हुआ है, जो हमारी जानकारी के दायरे में

शामिल सभी पदार्थों में विशालतम, और संभवतः सर्वाधिक समरूप है।" ईथर के अस्तित्व की अवधारणा इसलिए आवश्यक प्रतीत हुई कि यदि प्रकाश तरंग है तो उसकी यात्रा के लिए कोई माध्यम अवश्य होना चाहिए। लेकिन विज्ञान के क्षेत्र में "आवश्यक लगना" ही पर्याप्त नहीं होता। यदि ईथर का अस्तित्व है, तो उसका प्रमाण भी मिलना चाहिए।

सर्वाधिक प्रसिद्ध "असफल" प्रयोग

इस बारे में अमरीकी भौतिक-विज्ञानी अलबर्ट माइकेल्सन (सन् 1852-1931) के मस्तिष्क में एक विचार आया। यदि ब्रह्मांड को भरने वाला ईथर स्थिर है तो ईथर से गुजरने के कारण पृथ्वी को प्रतिरोध का सामना करना चाहिए। और इस प्रकार उसे ईथर में एक "झोंके" जैसी धारा उत्पन्न करना चाहिए। अतः इस धारा को साथ चलने वाले प्रकाशपुंज को भी अपने साथ-साथ प्रवाहित किया जाना चाहिए। दूसरी ओर इस धारा के विपरीत चलने वाले प्रकाश पुंज की रफ्तार धीमी हो जानी चाहिए। जर्मनी में हर्मन हेल्म होल्ट्ज (सन् 1821-1894) के साथ अध्ययन के दौरान माइकेल्सन ने सन् 1881 में एक उपकरण का निर्माण किया। इंटरफेरोमीटर नाम का यह उपकरण प्रकाश पुंज को एक-दूसरे से लंबवत प्रवाहित होने वाले दो भागों में विभाजित कर देता था और उन्हें इस प्रकार से पुनः संयुक्त कर देता था कि उनकी गति में आए अंतर को काफी सटीक ढंग से मापा जा सकता था।

माइकेल्सन ने प्रयोग तो किया, परन्तु उसके परिणामों ने उसे परेशान कर दिया। प्रकाश पुंज के दोनों भागों के वेग में कोई अंतर नहीं आया था। उसने निष्कर्ष निकाला "स्थैतिक ईथर संबंधी परिकल्पना के आधार पर प्राप्त परिणाम...... उसे गलत दर्शाते हैं, और उनसे प्राप्त किए गए अनिवार्य निष्कर्षों के अनुसार, यह परिकल्पना दोषपूर्ण है।"

लेकिन हो सकता था कि उस प्रयोग से प्राप्त किए गए निष्कर्ष ही गलत हों। इसलिए माइकेल्सन ने अपने प्रयोगों को बार-बार दुहराया, और हर बार कोशिश की कि कोई भी त्रुटि न रह जाए। अंततः सन् 1887 में माइकेल्सन ने क्लीवलैंड, ओहियो में एडवर्ड मोर्ली के साथ मिलकर एक प्रयोग किया। इसमें उसने परिष्कृत उपकरणों का प्रयोग किया

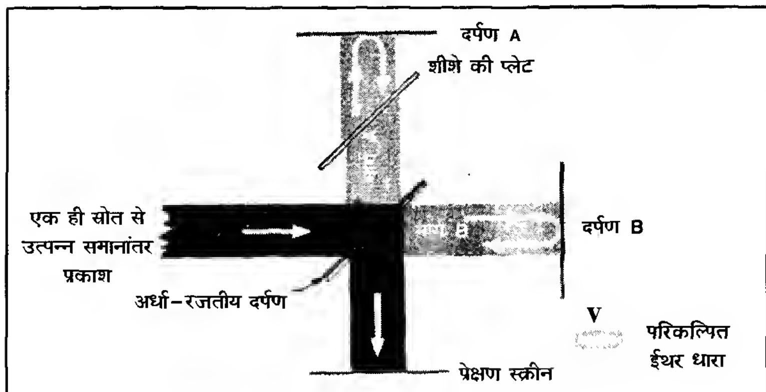


चित्र 1 : परिकल्पित ईथर से होकर पृथ्वी की गति

था और त्रुटियों से बचने के लिए हर संभव सावधानी बरती। उन्हें उम्मीद थी कि इस बार वे ईथर की खोज करने में अवश्य सफल होंगे। लेकिन प्रयोग पुनः असफल हो गया। यहां हम उस ऐतिहासिक प्रयोग का विवरण प्रस्तुत कर रहे हैं।

प्रयोग

यदि अंतरिक्ष में ईथर व्याप्त है तो हम इसमें से कम से कम 3×10^4 मीटर प्रति सेकेंड की

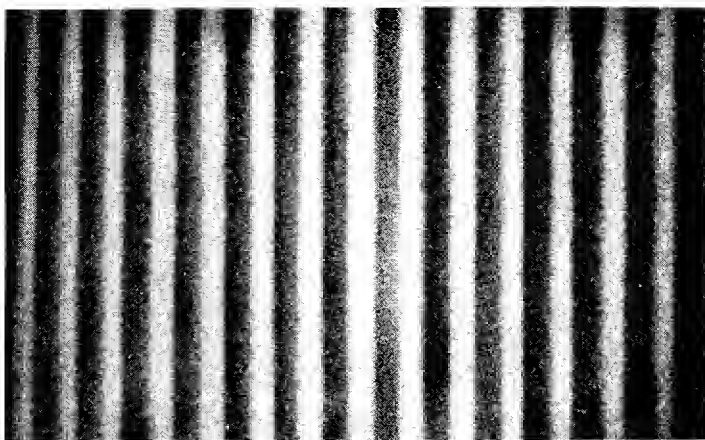


चित्र 2 : माइकेल्सन–मोर्ली का प्रयोग

रफ्तार से गुजरते हैं। यह सूर्य की परिक्रमा करने की पृथ्वी की रफ्तार है। यदि सूर्य भी गतिशील हो तो ईथर से होकर गुजरने की हमारी रफ्तार और अधिक हो जाती है (चित्र 1)। पृथ्वी पर खड़े किसी प्रेक्षक को ईथर ही पृथ्वी से होकर गुजरती लगेगी। इस गति को जानने के लिए हम अर्ध रजतीय दर्पण के माध्यम से उत्पन्न दो प्रकाश पुंजों का उपयोग कर सकते हैं (चित्र 2)। इनमें से एक पुंज को एक दर्पण की ओर निर्देशित कर ईथर धारा के मार्ग के लंबवत प्रवाहित किया जाता है तो दूसरे पुंज को अन्य दर्पण की ओर प्रवाहित कर ईथर धारा के समानांतर प्रवाहित किया जाता है। प्रकाशीय व्यवस्था इस प्रकार की जाती है कि ये दोनों पुंज एक ही पर्दे पर लौटते हैं। शीशे की साफ प्लेट का उपयोग यह सुनिश्चित करने के लिए किया जाता है कि दोनों पुंज वायु एवं शीशे की समान मोटाई से होकर गुजरें।

यदि दोनों पुंजों के मार्गों की लंबाई एक समान हो तो वे पर्दे पर प्रावस्थाओं (फेज़) में पहुंचेंगे और एक-दूसरे से इस रचनात्मक ढंग से टकरायेंगे कि पर्दे पर तेज चमक उत्पन्न होगी। लेकिन दर्शाई गई दिशा में यदि ईथर उपस्थित हो तो पुंजों के अर्धरजतीय दर्पण से पर्दे तक पहुंचने का समय अलग-अलग होगा और वे पर्दे पर प्रावस्थाओं में पहुंचने के बजाए एक-दूसरे पर नकारात्मक प्रभाव डालने वाले ढंग से टकराएंगे। माइकेल्सन और मोर्ली ने सन् 1887 में मूलतः यही प्रयोग किया था।

वास्तविक प्रयोग में दोनों शीशे एक-दूसरे से पूरी तरह लंबवत स्थित नहीं थे। परिणामस्वरूप एक-दूसरे के समीप स्थित प्रकाश तरंगों के मार्ग की लंबाई में अंतर होने के



चित्र 3 : माइकेल और मोर्ली के प्रयोग में प्रेक्षित धारियों की बानगी

कारण पर्दे पर क्रमबद्ध ढंग से चमकीली और अंधकारयुक्त धारियां खिंची नज़र आती थीं (चित्र 3)। उपकरण के प्रकाशीय मार्ग में उपस्थित ईथर की लंबाई में परिवर्तन किए जाने पर तरंगों का विलोपन और प्रबलीकरण क्रमिक ढंग से होता है और पर्दे पर धारियां दिखाई देती हैं। इस दशा में स्थैतिक उपकरण दोनों मार्गों के समय में अंतर के बारे में कुछ नहीं बताता लेकिन जब उपकरण को 90^0 पर घुमा दिया जाता है, तो दोनों मार्ग परिकल्पित ईथर माध्यम के सापेक्ष अपनी दिशा बदल देते हैं। अतः पुंज को A मार्ग पर चक्कर लगाने में पहले जहां t_A समय लगता था, वहीं अब B मार्ग पर चक्कर लगाने में t_B समय लगता है। यही क्रम विपरीत दिशा में भी दुहराया जा सकता है। यदि ये समय अलग-अलग हैं तो उपकरण को घुमाने के दौरान ये धारियां पर्दे के इस छोर से उस छोर तक जाती नज़र आएंगी।

इस जानकारी को ईथर सिद्धांत के आधार पर धारियों के विचलन की गणना करने के काम में लाते हैं। उपकरण को 90^0 घुमाने पर उत्पन्न स्थिति को इस सूत्र से दर्शाया जा सकता है :

$$n=Dv^2/\lambda\, c^2$$

यहां D अर्ध रजतीय दर्पण और अन्य दोनों दर्पणों के बीच की दूरी है (यह लगभग 10 मीटर होती है और इसी दूरी से पुंज को अनेक बार परावर्तित किया जाता है)। v ईथर का वेग है, यानि यह पृथ्वी की कक्षीय गति 3×10^4 (मी./सें) है। c प्रकाश का वेग, यानि 3×10^8 मी/सें है और λ प्रयोग में लाए गए प्रकाश का तरंगदैर्घ्य, लगभग 5000 आंगस्ट्राम है (1 आंगस्ट्राम = 10^{-10} cm)। इन स्थितियों में n=0.2 धारी (फ्रिंज) होता है।

चूंकि दोनों मार्गों में पुंजों के यात्रा करने पर धारियों में विचलन होता है, अतः 2n या कुल विचलन 0.4 धारी होगा। इस स्तर के विचलन को आसानी से देखा जा सकता है, अतः माइकेल्सन और मोर्ली को ईथर के अस्तित्व का स्पष्ट प्रमाण प्राप्त होने की आशा थी। लेकिन आश्चर्य की बात थी कि धारियों में लेशमात्र भी विचलन भी नहीं पाया गया। यह प्रयोग अलग-अलग मौसमों में अलग स्थानों पर किया गया, ईथर के अस्तित्व को प्रमाणित

करने के लिए अन्य प्रकार के प्रयोग भी किए गए लेकिन परिणाम हर स्थिति में एक जैसे ही मिले। ईथर से होकर गुजरने पर किसी प्रकार की गति या स्पंदन का कोई प्रमाण नहीं मिला।

माइकेल्सन और मोर्ली के प्रयोग के नकारात्मक परिणामों के दो प्रभाव सामने आए। एक तो इससे ईथर संबंधी परिकल्पना अतर्कसंगत साबित हो गई क्योंकि यह स्पष्ट हो गया कि ईथर में मापे जाने लायक गुण-धर्म नहीं थे। जिस विचार का किसी समय अत्यंत सम्मान किया जाता था, यह उसका अत्यंत अपकीर्तिकारी अंत था। इसका दूसरा प्रभाव इस रूप में सामने आया कि इसने एक नए भौतिक सिद्धांत का सूत्रपात किया। इस सिद्धांत के अनुसार, मुक्त अंतरिक्ष में प्रकाश का वेग हर स्थान पर एक समान है। उस पर स्रोत अथवा प्रेक्षक की गति का कोई प्रभाव नहीं पडता। परिणामस्वरूप विज्ञान के इतिहास में माइकेल्सन - मोर्ली का प्रयोग सर्वाधिक प्रसिद्ध असफल प्रयोग बन गया। उन्होंने ईथर का अध्ययन करना शुरू किया और इसका केवल एक नतीजा निकला कि ईथर का अस्तित्व नहीं है। लेकिन अगर यह सच था तो बिना किसी माध्यम के प्रकाश अंतरिक्ष में यात्रा कैसे करता था? और इतना ही नहीं, इस प्रयोग में यह भी साबित किया कि प्रकाश का वेग हमेशा स्थिर रहता है।

यह पूरी तरह अप्रत्याशित निष्कर्ष था। लेकिन प्रयोग अत्यंत सावधानी से किए गए थे और नतीजों को गलत नहीं ठहराया जा सकता था। लार्ड केल्विन (सन् 1824-1907) ने सन् 1900 में रायल इंस्टीट्यूशन में एक भाषण में कहा कि माइकेल्सन और मोर्ली ने अपना प्रयोग "अत्यंत सूक्ष्म सावधानियां बरतते हुए किया था और उन्होंने विश्वसनीय परिणाम हासिल किए थे", और इस तरह उन्होंने "प्रकाश की गतिशीलता के सिद्धांत पर 19वीं शताब्दी की घटाएं आच्छादित कर दीं।" इन नतीजों ने हर जगह के भौतिक विज्ञानियों को परेशानी में डाल दिया। स्पष्ट था कि ईथर के अस्तित्व के बारे में उनकी धारणा गलत थी, और अगर उनकी धारणा गलत थी तो प्रकाश एक ऐसी तरंग था, जो बिना किसी माध्यम के ही यात्रा करता था। इससे भी बड़ी बात यह थी कि माइकेल्सन और मोर्ली के परिणामों ने न्यूटनी सापेक्षता के सिद्धांत पर प्रश्नचिन्ह खड़ा कर दिया था। यह सिद्धांत सदियों से प्रचलित था और इसका भलीभांति परीक्षण किया जा चुका था। इस सिद्धांत के अनुसार, प्रेक्षक की संदर्भित स्थिति (रिफरेंस फ्रेम) की सापेक्षता में किसी वस्तु की रफ्तार बदल सकती है। कल्पना कीजिए कि सड़क पर दो कारें जा रही हैं (सन् 1887 में अधिक कारें नहीं थीं, परंतु कल्पना की जा सकती है, एक कार 80 किमी. प्रति घंटा की रफ्तार से जा रही है। दूसरी कार 75 किमी. प्रति घंटा की रफ्तार से जा रही है। धीमी रफ्तार वाली कार के ड्राइवर के लिए तेज रफ्तार वाली कार 5 किमी. प्रति घंटा की रफ्तार से आगे बढ़ रही है। फिर प्रकाश के मामले में कोई अंतर क्यों होना चाहिए?

लेकिन माइकेल्सन और मोर्ली के प्रयोगों ने यही दर्शाया था। प्रकाश अलग ढंग से व्यवहार करता है। प्रकाश का वेग हर हाल में हमेशा स्थिर होता है। किसी अंतरिक्ष यान में 2,90000 किमी. प्रति सेकंड की रफ्तार से यात्रा करने वाले अंतरिक्ष यात्री 3,00,000 किमी. प्रति सेकंड की रफ्तार से साथ-साथ चल रहे प्रकाश पुंज को 10,000 किमी. प्रति सेकंड की रफ्तार से नहीं, बल्कि 3,00,000 किमी. प्रति सेकंड की स्थिर रफ्तार से ही यात्रा करते देखेंगे। प्रकाश की गति में ब्रह्मांडीय निरपेक्षता (यूनिवर्सल ऐब्सलुट) है।



आर्थर होली कांप्टन



एंटोनी हेविस

सापेक्षता का विशेष सिद्धांत

अचरज की बात है कि आइंस्टीन को सन् 1905 में प्रकाशित उनके सर्वाधिक महत्वपूर्ण निबंध के लिए कभी नोबेल पुरस्कार नहीं मिला। इसमें सापेक्षता के विशेष सिद्धांत के नाम से प्रसिद्ध उनके सिद्धांत को प्रस्तुत किया गया था ।

उन्होंने माइकेल्सन और मोर्ली द्वारा संदेह के दायरे में ला दिए गए ईथर के अस्तित्व की धारणा को अस्वीकार कर दिया। मैक्सवेल को इस धारणा की आवश्यकता इसलिए महसूस हुई थी कि वह प्रकाश की गति को तरंगीय गति मानता था। लेकिन यदि प्रकाश मैक्सप्लैंक (सन् 1858-1947) के क्वांटम सिद्धांत के अनुसार, पृथक-पृथक पैकेटों, अथवा क्वांटा के रूप में चलना हो तो? तब वह कणिकाओं की तरह व्यवहार करेगा और उसे यात्रा करने के लिए किसी माध्यम की अवश्यकता नहीं होगी।

आइंस्टीन की मान्यताएं थीं कि प्रकाश का वेग स्थिर है; ईथर का अस्तित्व नहीं है; प्रकाश क्वांटा के रूप में यात्रा करता है और गति सापेक्ष है। इन मान्यताओं के आधार पर वह यह दर्शाने में सफल रहे कि मैक्सवेल के विद्युत-चुंबकीय समीकरण की वैधता पर प्रश्नचिन्ह लगाए बिना ही माइकेल्सन और मोर्ली के प्रयोग ने वैसे निष्कर्ष क्यों दिए? लेकिन, इस प्रकरण में ''सापेक्षवाद'' का प्रवेश कैसे हो गया?

हम एक ऐसे ब्रह्मांडीय ढांचे के रूप में ईथर की भूमिका का उल्लेख पहले कर चुके हैं, जिसके सापेक्ष प्रकाश की तरंगों के प्रसारित होने की कल्पना की जाती है। हम जब कभी ''गति'' की बात करते हैं, तो निसंदेह हमारा आशय किसी निर्देश प्रणाली की सापेक्ष गति से ही होता है। निर्देश प्रणाली कोई सड़क, पृथ्वी की सतह, सूर्य अथवा हमारी आकाशगंगा का केंद्र हो सकती है। लेकिन हर मामले में हमें इस निर्देश प्रणाली का उल्लेख करना चाहिए। नई दिल्ली और वाशिंगटन दोनों स्थानों पर गिराए गए पत्थर ''नीचे गिरते'' हैं लेकिन पृथ्वी के केन्द्र के सापेक्ष वे दोनों विपरीत दिशा में गिरते हैं। इस मामले में निर्देश प्रणाली की सही स्थिति कौन सी होगी? पृथ्वी की सतह अथवा उसका केंद्र? इसका उत्तर यह है कि सभी निर्देश प्रणालियां समान रूप से सही हैं, हालांकि किसी विशेष मामले में

किसी खास निर्देश प्रणाली का उपयोग अधिक सुविधाजनक हो सकता है। यदि संपूर्ण अंतरिक्ष में ईथर व्याप्त है तो हम सभी गतियों के लिए उसका संदर्भ दे सकते हैं और ऐसी स्थिति में नई दिल्ली और वाशिंगटन दुविधामुक्त हो जाएंगे। ईथर की अनुपस्थिति का मतलब संदर्भ के लिए किसी ब्रह्मांडीय ढांचे का अभाव होगा और ऐसी स्थिति में अस्तित्वमान गतियां केवल उन्हें देखने वाले व्यक्तियों और उपकरणों के ही सापेक्ष होंगी।

सापेक्षता के सिद्धांत का जन्म संदर्भ के लिए ब्रह्मांडीय ढांचे के अभाव की स्थिति में निहित भौतिक परिणामों के विश्लेषण से हुआ। सापेक्षता का विशेष सिद्धांत निर्देश



कार्लो रुबिया



एनरिको फर्मी

प्रणालियों के एक-दूसरे के सापेक्ष स्थिर वेग (यानि, स्थिर रफ्तार और स्थिर दशा, दोनों) से गतिशील होने की अवस्था से जुड़ी समस्याओं पर विचार करता है। एक दशक बाद आइंस्टीन ने सापेक्षता के जिस सामान्य सिद्धांत का प्रतिपादन किया वह एक-दूसरे के सापेक्ष त्वरित निर्देश प्रणालियों से जुड़ी समस्याओं पर विचार करता है । विशेष सापेक्षता का भौतिकी की समस्त शाखाओं पर गहरा प्रभाव पड़ा। युवा अलबर्ट आइंस्टीन ने सन् 1905 में जिस निबंध के माध्यम से सापेक्षता के विशेष सिद्धांत का प्रतिपादन किया। उसने सहज विवेक के समक्ष अनेक नई और उद्विग्न कर देने वाली धारणाएं प्रस्तुत कीं। इसने ईथर के अस्तित्व को नकार दिया और यह दर्शाया कि पदार्थ और ऊर्जा एक-दूसरे के बराबर हैं। सापेक्षता के सिद्धांत के केंद्रीय तत्व से सृजित नए विचारों के अनुसार, प्रत्येक प्रेक्षक के लिए समय समान रफ्तार से गतिशील नहीं होता। यह साहसिक अवधारणा पारमाणविक धरातल से लेकर ब्रह्मांडीय विस्तार तक से संबद्ध आधुनिक भौतिकी के हृदयस्थल में निवास करती हैं। इसके बावजूद इसे समझना कठिन है और इसमें निहित विरोधाभास भौतिक विज्ञानियों की हर पीढ़ी को उलझन में डालते हैं।

दो अभिधारणाएं

सापेक्षता का विशेष सिद्धांत दो अभिधारणाओं पर आधारित है। पहली अभिधारणा के अनुसार **एक–दूसरे के सापेक्ष समान वेग से गतिशील सभी निर्देश प्रणालियों (फ्रेम**



मरे गेलमान



जोसेफ एच. टेलर जूनियर

ऑफ रिफरेंस) के लिए भौतिकी के नियम ऐसे समीकरणों में व्यक्त किए जा सकते हैं जिनका एक–दूसरे के सापेक्ष समान रफ्तार से गतिशील सभी निर्देश प्रणालियों के रूप में हो। यह अभिधारणा संदर्भ के लिए किसी ब्रह्मांडीय ढांचे का अभाव दर्शाती है। यदि सापेक्ष रूप से गतिशील विभिन्न प्रेक्षकों के लिए भौतिकी के नियमों का रूप अलग-अलग हों तो इन अंतरों के आधार पर निर्धारित किया जा सकता है कि अतरिक्ष में कौन सा पदार्थ "स्थिर" है और कौन सा पदार्थ "गतिशील" है। लेकिन चूंकि किसी ब्रह्मांडीय ढांचे का अस्तित्व नहीं है, अतः प्रकृति में इस प्रकार का विभेद नहीं दिखता। उपर्युक्त अभिधारणा का यही आधार है। परिणामस्वरूप इस अभिधारणा में यह तथ्य निहित है कि यदि दो प्रेक्षक हों, और उनमें से प्रत्येक को दूसरा एक सीधी रेखा में स्थिर रफ्तार से गतिशील नजर आ रहा हो, तो दोनों यह नहीं कह सकते कि उनमें से कौन गतिशील है।

विशेष सापेक्षता सिद्धांत की दूसरी अभिधारणा कहती है कि **मुक्त अंतरिक्ष में प्रकाश की रफ्तार का मान सभी प्रेक्षकों के लिए एक होगा, और वह प्रेक्षकों की अवस्था से निरपेक्ष होगा।** यह अभिधारणा सीधे-सीधे माइकेल्सन और मोर्ली के प्रयोग का परिणाम थी और इसमें यह निष्कर्ष निहित था कि प्रकाश की रफ्तार नापने पर दोनों प्रेक्षकों को एक ही उत्तर मिलेगा।

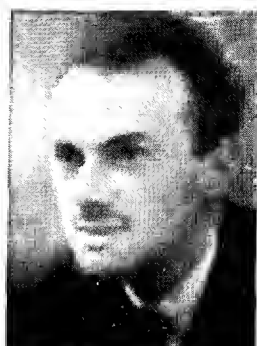
इनमें से कोई अभिधारणा नई नहीं थी। पहली अभिधारणा यांत्रिकी के स्वीकार्य नियमों में काफी समय से निहित थी और दूसरी अभिधारणा को माइकेल्सन एवं मोर्ली के सन् 1887 के प्रयोग की स्वाभाविक व्याख्या के रूप में स्वीकार किया जाने लगा था। तब इन अभिधारणाओं में नया क्या था? दरअसल आइंस्टीन ने अपने विश्लेषण में इन दोनों अभिधारणाओं को संयुक्त कर दिया था। ये अभिधारणाएं सापेक्षता के दो सिद्धांतों का प्रतिपादन अलग-अलग नहीं, बल्कि परस्पर मिलकर करती हैं। इसीलिए आइंस्टीन ने इन्हें अपने निबंध के प्रारंभ में अलग-अलग नहीं, बल्कि एक साथ प्रस्तुत किया था।

दरअसल आइंस्टीन के विशेष सापेक्षता सिद्धांत में न्यूटनी भौतिकी को कुछ इस प्रकार से पुनर्संयोजित किया गया कि सूत्रबद्ध किए जाने पर उस सिद्धांत ने प्रकाश की सापेक्ष गति हर स्थिति में एक सी दर्शाई। अन्य वस्तुओं के एक-दूसरे के सापेक्ष परिवर्तित

होने पर भी प्रकाश की गति किसी वस्तु के सापेक्ष परिवर्तित नहीं होती थी। **द्रव्यमान, दिक् और काल सभी परिवर्तित होते हैं, और उनका परिवर्तित होना इस बात पर निर्भर होता है कि आप कितनी तेजी से गतिशील हैं।** आप जितनी तेजी से गतिशील होते हैं अन्य प्रेक्षकों की दृष्टि में आपका द्रव्यमान उतना ही अधिक होता है, आप उसी अनुपात में कम स्थान ग्रहण करते हैं और आपके लिए समय उतनी ही धीमी गति से गुजरता है। **आप की गति और प्रकाश की गति में जितना अधिक सामिप्य होता है, ये प्रभाव उसी अनुपात में बढ़ते जाते हैं।** आइए, सापेक्षता के सिद्धांत के कुछ प्रभावों का जायजा लें।



रसेल ए. हल्स



पॉल एड्रियन मौरिस डिराक

समय – विस्तार

आइंस्टीन के विशेष सापेक्षता सिद्धांत की दोनों अभिधारणाओं से तत्काल निष्कर्ष निकलता है कि हमें समय की पारंपरिक अवधारणा को बदलना होगा। पारंपरिक सोच के अनुसार, हम यह मान कर चलते हैं कि समय हर स्थान पर और सबके लिए एक है। क्यों नहीं? यह मान्यता बिल्कुल स्वाभाविक लगती है कि "अब" समय की सत्ता विश्व में कहीं भी उपस्थित किसी भी यात्री के लिए सार्वभौम (युनिवर्सल) है। लेकिन सापेक्षता के विशेष सिद्धांत के अनुसार समय की रफ्तार ऐसे दो प्रेक्षकों के लिए एक-समान नहीं हो सकती।

यदि आप एक अंतरिक्ष यात्री हैं और प्रकाश की 90 प्रतिशत रफ्तार से (लगभग 2,70,000 किमी. प्रति सेकंड) यात्रा कर रहे हैं तो कैलेंडर के मुताबिक चलने वाली अपनी घड़ी के मुताबिक पांच साल यात्रा करने के बाद पृथ्वी पर लौटने पर पाएंगे कि आप अपने पीछे जिस मित्र को छोड़ गए थे, उसके लिए 10 वर्ष का समय बीत चुका है। और यदि आप अपने इंजन को इतनी शक्ति से चला सकें कि आपके लिए प्रकाश की 99.99 प्रतिशत रफ्तार से यात्रा करना संभव हो जाए तो 6 माह यात्रा करने के बाद आप पाएंगे कि आपकी अनुपस्थिति में पृथ्वी पर 50 वर्ष बीत चुके हैं।

किसी प्रेक्षक के सापेक्ष गतिशील घड़ी की रफ्तार प्रेक्षक के सापेक्ष स्थिर निर्देश प्रणाली में स्थित घड़ी की तुलना में धीमी लगती है। यदि हम **S** निर्देश प्रणाली, या स्थिर निर्देश प्रणाली से हमारे सापेक्ष गतिशील निर्देश प्रणाली **S'** में किसी घटना को t समय दैर्घ्य

में घटित होती देखते हैं तो हमारी घड़ी t_0 से लम्बा समय अंतराल दर्शाएगी। t_0 गतिशील निर्देश प्रणाली के अन्तर्गत उपस्थित किसी घड़ी द्वारा निर्धारित समय है। इस प्रभाव को समय विस्तार करते हैं।

सोपक्षता के सिद्धांत के अनुसार, t और t_0 में यह संबंध होता है :

$$t = t_0 / \sqrt{1-v^2/c^2}$$

यहां पर v निर्देश प्रणाली S' (गतिशील निर्देश प्रणाली) की S (वह स्थिर निर्देश प्रणाली, जिसमें प्रेक्षक उपस्थित है) के सापेक्ष रफ्तार है। स्पष्ट है कि t_0 की तुलना में t का मान अधिक है; चूंकि v, c से अधिक नहीं हो सकता, अतः किसी गतिशील निर्देश प्रणाली में उपस्थित घड़ी गतिशील निर्देश प्रणाली में घटनाओं के घटित होने का जो समय अंतराल को मापती है, वह स्थिर अवस्था में स्थित घड़ी द्वारा मापे गए समय अन्तराल से कम होगा।



सिमोन वान डेर मीर



सर मार्टिन रिले

अतः सापेक्षता का नियम कहता है कि समय सापेक्ष है। इसका प्रवाह एक-दूसरे के सापेक्ष गतिशील दो यांत्रियों के लिए एक समान नहीं होता। उदाहरण के तौर पर गतिशील घड़ियों की रफ्तार, धीमी होती हैं। सातवें दशक में मिशिगन विश्वविद्यालय के वैज्ञानिकों ने परमाणु घड़ियों के दो ऐसे समूह लिए जो समय को दशमलव के तेरह स्थानों तक सटीक ढंग से माप सकते थे। उन्होंने इन घड़ियों के एक समूह को दुनिया का भ्रमण कर रहे विमानों पर रख दिया। घड़ियों का ठीक वैसा ही दूसरा समूह जमीन पर रखा गया। जब घड़ियों को लेकर उड़ रहे विमान भूमि पर वापस उतरे तो उन पर स्थित घड़ियों के समय की तुलना धरती पर स्थिर पड़ी घड़ियों से की गई। देखा गया कि विमानों पर रखी घड़ियों ने धरती पर रखी घड़ियों की तुलना में कम समय दर्शाया था।

उल्लेखनीय है कि जब v बढ़कर c के समीप पहुंच जाता है तो गतिशील स्थिति S' में घटित होने वाली प्रक्रिया की रफ्तार S स्थिति में उपस्थित प्रेक्षक के लिए और धीमी हो जाती है। जब v=c हो जाता है, तो t की लंबाई अनंत हो जाती है। इस तरह यह समीकरण गतिशील स्थिति S' के लिए रफ्तार की एक सीमा निर्धारित करता है, जो प्रकाश के वेग के बराबर होती है।



सुब्रमण्यन चंद्रशेखर



स्टीफन हाकिंग

अब जरा सापेक्षता के सिद्धांत के विरोध में आम तौर पर उठाई जाने वाली एक आपत्ति पर विचार किया जाए। चूंकि किसी तरह की परम गति का अस्तित्व नहीं है, अतः कोई भी "वरीयता प्राप्त" निर्देश प्रणाली नहीं है। अतः किसी भी प्राकृतिक नियम की अवहेलना किए बिना किसी गतिशील वस्तु को भी निर्देश प्रणाली माना जा सकता है। यदि पृथ्वी को निर्देश प्रणाली माना जाए तो लंबी यात्रा पर निकले अंतरिक्ष यात्री लौटने पर घर पर रहने वाले अपने भाई की तुलना में स्वयं को युवा पाएंगे। यह सब तो ठीक है। पर अंतरिक्ष यान को संदर्भित स्थिति (S)? मानने पर क्या होगा? उस स्थिति में कल्पना की जा सकती है कि पृथ्वी अंतरिक्ष यान से काफी दूर तक यात्रा करती है और फिर वापस लौटती है। ऐसी अवस्था में यान पर उपस्थित जुड़वां भाई को घर पर मौजूद माना जाएगा। तब पृथ्वी के अंतरिक्ष यान पर लौटने पर क्या पृथ्वी पर सवार जुड़वां भाई अपेक्षाकृत युवा नहीं होगा? यदि ऐसा हो तो यह स्थिति सहज विवेक के लिए विरोधाभास से भी अधिक जटिल होगी। यह एक स्पष्ट अंतर्विरोध है। स्पष्ट है कि दोनों जुड़वां एक-दूसरे से युवा नहीं हो सकते। क्या यह विरोधाभास है? नहीं! सापेक्षता के सिद्धांत का व्यावहारिक उपयोग करने पर पाया जाता है कि यात्रा करने वाला भाई वास्तव में घर पर उपस्थित भाई की तुलना में युवा रहता है (बाक्स देखें।)

लंबाई का संकुचन

सापेक्षता का सिद्धांत यह भी बताता है कि किसी वस्तु की रफ्तार जितनी अधिक बढ़ती है, किसी स्थिर प्रेक्षक को उसका आकार गति की दिशा में उतना ही सिकुड़ता नज़र आता है। इसका आशय यह है कि किसी स्थिर प्रेक्षक के सापेक्ष गतिशील वस्तु का आकार प्रेक्षक की सापेक्षता में स्थिर अवस्था के उसके आकार की तुलना में छोटा नजर आता है। इस परिघटना को लोरेंट्ज-फिट्जजेराल्ड अंतर्विरोध कहते हैं।

यदि दो स्थितियां S और S' हो और S' स्थिति v वेग से S के सापेक्ष गतिशील हो, तो उनका सापेक्ष वेग समीकरणों में v^2 के रूप में प्रकट होगा। इससे कोई अंतर नहीं पड़ता कि हम किस स्थिति को S कहते हैं और किस स्थिति को S' कहते हैं। यदि प्रक्षेपण स्थल पर किसी राकेट की लंबाई L_0 है तो राकेट के v गति से आगे बढ़ने पर पृथ्वी से देखने पर

जुड़वों का विरोधाभास

बेशक, सापेक्षता के सिद्धांत के बारे में तरह-तरह की आपत्तियां उठाई जाती रही हैं। इस बारे में एक चिरस्थायी आपत्ति एक विरोधाभास से जुड़ी हुई है। इसका उल्लेख स्वंय आइंस्टीन ने सन् 1905 के अपने निबंध में किया था। "विरोधाभास" शब्द का प्रयोग इस आशय में किया गया था कि यह सहज विवेक को अटपटा लगता है। इसका यह तात्पर्य नहीं था कि यह तार्किक दृष्टि से विरोधाभासपूर्ण है। आमतौर पर इस विरोधाभास का उल्लेख जुड़वों से जुड़े एक वैचारिक प्रयोग के रूप में किया जाता है। दोनो जुड़वां अपनी घड़ियां मिलाते हैं। एक जुड़वा अंतरिक्ष यान पर सवार होकर लंबी यात्रा करता है। उसके वापस लौटने पर दोनो जुड़वां अपनी घड़ियां के समय की तुलना करते हैं। सापेक्षता के विशेष सिद्धांत के अनुसार, यात्री की घड़ी थोड़ा पहले का समय बताएगी। दूसरे शब्दों में धरती की तुलना में अंतरिक्ष में समय धीमी रफ्तार से बीतेगा।

पहली नज़र में लगेगा कि अलग हो कर फिर मिलने वाले प्रेक्षकों को एक-दूसरे से साम्य की स्थिति में होना चाहिए। दोनों ने जो भी यात्रा की हो, आखिरकार वह सापेक्ष है, और दोनों यह कहने के लिए स्वतंत्र हैं कि यात्रा उसने नहीं, बल्कि दूसरे प्रेक्षक ने की है। निश्चित तौर पर, हम यह पूछ सकते हैं कि क्या सापेक्षता की पहली अभिधारणा ऐसा नहीं कहती कि दो प्रेक्षक यह नहीं बता सकते कि उनमें से कौन गतिशील था, और कौन स्थिर?

नहीं, ऐसा नहीं है। सापेक्षता की पहली अभिधारणा जो कहती है, वह इससे भी सूक्ष्म है। वह कहीं अधिक सटीक, तथा निश्चित है। पहली अभिधारणा कहती है कि यदि दोनों प्रेक्षकों को लगता है कि उनमें से दूसरा एक सरल रेखा में स्थिर गति से गतिशील हैं तो उस अवस्था में दोनों प्रेक्षकों में से कोई नहीं कह सकता कि उनमें से कौन गतिशील है। लेकिन यह अभिधारणा कक्षीय गति करने वाले प्रेक्षकों के बारे में कुछ नहीं कहती। वह अभिधारणा उस अवस्था के बारे में कुछ नहीं कहती जब दोनों प्रेक्षक सीधी रेखा में अथवा स्थिर गति से गतिशील न हों।

यही मामले का सारतत्व है। एक दूसरे से अलग हो कर पुनः मिलने वाले दोनों प्रेक्षक अपनी ऐसी यात्रा के दौरान सापेक्षता की पहली अभिधारणा की दोनों शर्तें पूरी नहीं कर सकते। कल्पना कीजिए, उनमें से एक स्थिर है, तब दूसरा एक सीधी रेखा में जा कर लौट सकता है, लेकिन यदि वह ऐसा करता है, तो उसे किसी बिंदु पर पलटना पड़ेगा, यानी अपनी गति बदलनी पड़ेगी, अथवा वह यात्री स्थिर गति से ही चलता रह सकता है, लेकिन उस अवस्था में उसे अपने प्रस्थान बिंदु पर वापस लौटने के लिए वक्रिल मार्ग अपनाना होगा। स्थिर गति से सीधी रेखा में चल कर वह अपने स्थान बिंदु पर वापस नहीं लौट सकता। अलग हो कर पुनः मिलने वाले दो प्रेक्षक सापेक्षता की प्रथम अभिधारणा की एक शर्त तो पूरी कर सकते हैं, पर दोनों नहीं।

और जैसे ही कोई यात्री प्रथम अभिधारणा की शर्तों से विचलित होता है, उसे एहसास हो जाता है कि वह गतिशील है। वह गति में परिवर्तन लाने वाले बाहरी बलों का अनुभव

करने लगता है। यदि वह सीधी रेखा में चलते हुए, निश्चलता की स्थिति में लौटता है तो भौतिक स्तर पर उसे अनुभव हो जाता है कि उसकी रफ्तार घट रही है। उसे अपने साथ और कुछ नहीं, केवल एक बाल्टी पानी रखने की जरूरत है। पानी की सतह में आलोड़न होते ही वह समझ जाएगा कि उसकी रफ्तार परिवर्तित हो रही है। इसी तरह यदि कोई यात्री गोलाई में यात्रा कर रहा हो तो वह यह बात स्वयं त्वरण अनुभव करके, या त्वरणमापी की सहायता से अथवा पानी भरी बाल्टी की मदद से बता सकता है। हम किसी सीधी रेखा में स्थिर गति का अनुभव नहीं कर सकते, यह सापेक्षता की पहली अभिधारणा है, लेकिन हम किसी भी त्वरित गति का अनुभव कर सकते हैं। यह एक ऐसा भौतिक यथार्थ है, जिसका अनुभव हम सभी करते हैं। रात के अंधेरे में किसी चलती ट्रेन के डिब्बे में सोते समय शायद हम अनुभव न कर सकें कि ट्रेन चल रही हैं, अथवा नहीं। लेकिन जब ट्रेन में ब्रेक लगता है, अथवा जब वह मुड़ती है तो हम उसे अनुभव कर सकते हैं। हमें यह अनुभूति झटका लगने के कारण होती है। हम अपने त्वरणमापी का कार्य स्वयं करते हैं।

इसलिए अगर मैं घर पर रुकूं और आप यात्रा पर जा कर वापस लौटें तो हमारे बीच साम्य का संबंध नहीं होता है। आपने भले ही अंधकार भरी ट्रेन में यात्रा की हो, पर किसी त्वरणमापी की सहायता से आप बता सकते हैं कि आपने यात्रा की है। और मैं आपको बता सकता हूं कि मैं घर पर रुका था क्योंकि मेरे त्वरणमापी ने गति और दिशा में किसी प्रकार के परिवर्तन का अनुभव नहीं किया था। चक्करदार यात्रा करने वाले किसी यात्री और घर पर रुके व्यक्ति में अंतर किया जा सकता है।

अब जरा अपनी, यानी यात्रा करने वाले की घड़ी की कल्पना कीजिए। मान लीजिए कि आपकी गोलाई में की गई यात्रा, छोटे-छोटे सीधे मार्गों में हुई हो और इन छोटे-छोटे मार्गों पर यात्रा के दौरान आपने अपनी गति को स्थिर रखा हो। उस स्थिति में हर छोटे मार्ग में मुझे आपकी घड़ी की रफ्तार अपनी घड़ी की रफ्तार से धीमी लगेगी। आप जब लौटेंगे तो आपकी घड़ी उन छोटे मार्गों में समय में हुई कमी के कुल योग के कारण मेरी घड़ी से पीछे होगी, और आप मेरी अपेक्षा युवा होंगे। क्या ऐसा हो सकता है? ऐसा हो सकता है, और ऐसा ही होता है। हमारे समय की माप में अंतर से आपके द्वारा इस स्थिति में महसूस किए गए किसी साम्य से कोई विरोधाभास नहीं है। इसका आपके इस आकलन से कोई विरोध नहीं है कि किसी छोटे मार्ग में यात्रा के दौरान आपको मेरी घड़ी अपनी से धीमी लग सकती है लेकिन आपके इस आकलन में वृद्धि नहीं होगी क्योंकि आप सापेक्षता की पहली अभिधारणा से प्रतिबद्ध नहीं हैं। मेरे समय के बारे में आपकी दृष्टि आपके द्वारा एक सीधे मार्ग से दूसरे सीधे मार्ग में किए गए हर आकस्मिक परिवर्तन से बदलेगी। दूसरी ओर मेरी दृष्टि में आपके समय में आई कमी में स्थिर गति से वृद्धि होगी क्योंकि सापेक्षता की पहली अभिधारणा से मैं ही प्रतिबद्ध हूं।

स्रोत : जे. ब्रोनोवस्की लिखित 'द क्लाक पैराडाक्स' साइंटिफिक अमेरिकन (जनवरी 1963)

उसकी लंबाई $L = L_0 \sqrt{1-v^2/c^2}$ दिखेगी। जबकि राकेट में मौजूद आदमी को उसी कारक $\sqrt{1-v^2/c^2}$ के कारण पृथ्वी की वस्तुएं उस समय की तुलना में छोटी दिखाई देती हैं, जब वह पृथ्वी पर था। किसी भी वस्तु की लंबाई अधिकतम तब होती है, जब उसे उस निर्देश प्रणाली के अंतर्गत मापा जाता है, जिसमें वह गतिशील होती है। सामान्य गतियों के मामले में यह सापेक्ष संकुचन नगण्य सा होता है लेकिन प्रकाश की गति के समीप की किसी गति के लिए यह प्रभाव महत्वपूर्ण हो जाता है। v=1500 किमी./सेकंड की रफ्तार, अथवा प्रकाश की 0.005 प्रतिशत रफ्तार पर गतिशील स्थिति S के अंतर्गत मापा गया L, L_0 का 99.9985 प्रतिशत होगा। लेकिन जब v प्रकाश के वेग का 90 प्रतिशत हो तो L, L_0 का 44 प्रतिशत होगा। इस तथ्य को रेखांकित करना आवश्यक है कि लंबाई में संकुचन केवल सापेक्ष गति की दिशा में होता है।

एक प्रभावशाली उदाहरण

समय-विस्तार और लंबाई के संकुचन का एक उल्लेखनीय उदाहरण μ मेसान कही जाने वाली अस्थिर कणिकाओं के क्षरण की परिघटना है। ये कणिकाएं अंतरिक्ष से पृथ्वी पर तीव्र गति से आने वाली ब्रह्मांडीय किरण-कणिकाओं के कारण पृथ्वी की सतह से कई किमी. ऊपर सृजित होती है और प्रकाश की रफ्तार के 0.998 वेग से भारी मात्रा में समुद्र की सतह पर पहुंचती है। सामान्य स्थिति में μ मेसान कणिकाओं को इलेक्ट्रान के रूप में विघटित होने में केवल 2×10^{-6} सेकंड समय लगता। इस अवधि में वे केवल 600 मीटर की यात्रा ही कर सकती थीं। लेकिन, मेसान के सापेक्ष उनकी यात्रा की दूरी घट जाती है और हम लोगों की सापेक्ष उनके यात्रा के मार्ग की जीवन अवधि बढ़ जाती है।

इस प्रकार अपनी संक्षिप्त जीवन अवधि के बावजूद मेसान के लिए काफी ऊंचाई से (जिस पर वे निर्मित होते हैं) जमीन पर पहुंचना संभव हो जाता है।

अधिक तेज–अधिक भारी

सापेक्षता के सिद्धांत का एक और रोचक परिणाम यह है कि जैसे-जैसे वस्तु की गति बढ़ कर प्रकाश की गति के समीप होती जाती है, उसका भार अनंत होता जाता है । किसी वस्तु के m द्रव्यमान को गतिशील अवस्था में m_0 के रूप में मापे जाने पर, इस द्रव्यमान और स्थिर अवस्था में वस्तु के द्रव्यमान के संबंध को इस सूत्र के माध्यम से दर्शाया जा सकता है :

$$m = m_0 \sqrt{1-v^2/c^2}$$

v गति से गतिशील किसी वस्तु का द्रव्यमान किसी प्रेक्षक के लिए $1/\sqrt{1-v^2/c^2}$ कारक के कारण उस वस्तु के प्रेक्षक के सापेक्ष स्थिर अवस्था में होने पर मापे गए उसके द्रव्यमान की तुलना में अधिक होगा। आपेक्षिक द्रव्यमान वृद्धि केवल प्रकाश की गति के सामिप्य की स्थिति में ही महत्वपूर्ण होती है। प्रकाश की गति का दसवां भाग गति होने पर द्रव्यमान वृद्धि केवल 0.5 प्रतिशत होगी लेकिन प्रकाश की गति की 90 प्रतिशत गति होने की स्थिति में द्रव्यमान वृद्धि 100 प्रतिशत हो जाएगी। केवल इलेक्ट्रान, प्रोटान, मेसान और ऐसी अन्य पारमाणविक कणिकाओं की गति ही इतनी तेज हो सकती है कि उनमें मापा जा

सकने लायक आपेक्षिक प्रभाव दिखाई दे। अतः इन कणिकाओं के संबंध में विचार करते समय भौतिकी के सामान्य नियमों का प्रयोग नहीं किया जा सकता। ऐतिहासिक दृष्टि से इस प्रभाव की पुष्टि सर्वप्रथम सन् 1908 में बचरर ने की थी। उसकी खोज के अनुसार, तेज गति वाले इलेक्ट्रानों के लिए उन पर स्थित आवेश और उनके द्रव्यमान का संबंध e/m धीमी गति वाले इलेक्ट्रानों से कम होता है। सापेक्षता के सिद्धांत के अन्य समीकरणों की तरह यह समीकरण भी अनेक प्रयोगों के माध्यम से सत्यापित किया जा चुका है और अब यह भौतिकी का एक मूल सूत्र बन गया है।

द्रव्यमान? ऊर्जा? या द्रव्यमान ऊर्जा?

सापेक्षता के सिद्धांत का एक और विस्मयकारी प्रभाव है। अपने प्रसिद्ध समीकरण $E=mc^2$ का उपयोग करके आइंस्टीन ने दर्शा दिया कि ऊर्जा और द्रव्यमान एक ही वस्तु के दो पहलू हैं। इस समीकरण में E ऊर्जा है, m द्रव्यमान है और c^2 प्रकाश का वेग; यह स्थिरांक है। अतः ऊर्जा का परिमाण किसी वस्तु के द्रव्यमान और प्रकाश के वेग के गुणनफल के बराबर होता है।

इस प्रकार ऊर्जा स्वयं को गतिज, स्थितिज, विद्युत-चुंबकीय, तापीय एवं अपने अन्य चिर-परिचित रूपों के अलावा द्रव्यमान के रूप में भी व्यक्त कर सकती है। द्रव्यमान की इकाई (किग्रा.) और ऊर्जा की इकाई (जूल) के बीच परिवर्तन का कारक c^2 है। इस प्रकार 1 किग्रा. द्रव्यमान में 9×10^{16} जूल ऊर्जा निहित होती है। पदार्थ के एक छोटे से टुकड़े में भी ऊर्जा की विशाल मात्रा निहित होती है।

चूंकि द्रव्यमान और ऊर्जा पृथक सत्ताएं नहीं हैं, अतः द्रव्यमान और ऊर्जा के संरक्षण से संबंधित अलग-अलग नियम वास्तविक अर्थों में एक ही हैं और उन्हें द्रव्यमान-ऊर्जा के संरक्षण का नियम कहा जा सकता है। द्रव्यमान को सृजित अथवा नष्ट किया जा सकता है, लेकिन इसके लिए उतने ही परिमाण की ऊर्जा का क्षरण अथवा सृजन आवश्यक है।

द्रव्यमान-ऊर्जा के इस प्रसिद्ध संरक्षण सिद्धांत के कारण ही तारों, परमाणु बमों और नाभिकीय रिएक्टरों में ऊर्जा उत्पन्न होती है।

जब सहज विवेक काम नहीं देता

लेख के पीछे अंशों में सापेक्षता के जिन प्रभावों का वर्णन किया गया है, वे पूरी तरह हमारे सहज विवेक के विरुद्ध साबित होते हैं। लेकिन सहज विवेक हमारे दैनंदिन अनुभवों पर आधारित है और सापेक्षता के सिद्धांत के आश्चर्य प्रभावों का अनुभव तब तक नहीं होता, जब तक कि आप बेहद तेज रफ्तार से गतिशील न हों। आइए, इस पहलू को जरा विस्तार से समझें। कल्पना कीजिए कि कोई रायफलधारी व्यक्ति एक जीप पर धरती के सापेक्ष v गति से जा रहा है। रायफलधारी आगे की ओर धरती के सापेक्ष v वेग से गोली दागता है। सापेक्षता के सिद्धांत के अनुसार, गोली का वेग V+v, नहीं, बल्कि $(V + v) / (1+vV/c^2)$ होगा। यहां पर c प्रकाश का वेग है। यदि v और V दोनों प्रकाश के वेग से काफी कम हों तो हर के दूसरे पद का मान व्यावहारिक तौर पर शून्य होगा और उस स्थिति में हमारे सहज विवेक वाला फार्मूला ही लागू होगा लेकिन यदि v अथवा V, या दोनों प्रकाश की गति के निकट पहुंच जाएं तो स्थिति बिल्कुल भिन्न होगी। कल्पना कीजिए $V = v = 0.75$ c

चौथा आयाम

आइंस्टीन के अनुसार दिक् और काल एक-दूसरे से अत्यंत घनिष्ठता से जुड़े हुए हैं और उनके इस तादात्म्य को किसी सीमा में नहीं बांधा जा सकता है। यह घनिष्ठता उससे कहीं अधिक प्रगाढ़ है, जितनी कि समझी जाती रही है। दिक् और काल की धारणा को एक दूसरे से विस्थापित किया जा सकता है। इस मान्यता को और स्पष्ट करने के लिए चलती ट्रेन के भोजनालय में बैठे एक यात्री का उदाहरण दिया जा सकता है। उस यात्री को सूप, भोजन और दही-चीनी परोसने वाला वेटर समझता है कि यात्री ने ये चीजें एक ही स्थान पर यानी भोजनालय में स्थित एक ही मेज पर खायी हैं। लेकिन भूमि पर स्थित व्यक्ति के नजरिए से उस यात्री ने ये तीनों तरह की चीजें पटरी पर मीलों फासले पर स्थित विभिन्न बिंदुओं पर ग्रहण की है। इस हालत में हम यह सतही नतीजा निकाल सकते हैं कि किसी गतिशील स्थिति में विभिन्न समयों में एक ही स्थान पर घटी घटना भूमि पर स्थित प्रेक्षक को विभिन्न स्थानों पर घटित हुई लग सकती है।

अब आइंस्टीन की इस मान्यता को प्रयोग करते हुए कि दिक् और काल को एक-दूसरे से विस्थापित किया जा सकता है, ऊपर निकाले गए निष्कर्ष में ''स्थान'' शब्द को समय से और ''समय'' शब्द को ''स्थान'' शब्द से विस्थापित कर दें तो निष्कर्ष कुछ इस तरह का होगा : किसी गतिशील स्थिति में एक ही समय पर, लेकिन विभिन्न स्थानों पर घटित होने वाली घटना भूमि पर स्थित प्रेक्षक को विभिन्न समयों पर घटित हुई लग सकती है। अब इस निष्कर्ष को सतही नहीं कहा जा सकता। इसका मतलब यह हुआ कि ट्रेन के भोजनालय के अलग-अलग छोरों पर बैठे हुए यात्री यदि भोजन के बाद एक ही साथ काफी पी रहे हैं तो भोजनालय के बैरे की दृष्टि में तो वे एक ही समय में काफी पी रहे हैं पर भूमि पर खड़ा प्रेक्षक कहेगा कि दोनों ने अलग-अलग समय पर काफी पी। चूंकि सापेक्षता के सिद्धांत के अनुसार, दोनों प्रणालियों में संदर्भित स्थितियों में से किसी एक को दूसरे पर वरीयता नहीं दी जा सकती (ट्रेन भूमि के सापेक्ष गतिशील है, अथवा भूमि ट्रेन के सापेक्ष गतिशील है), अतः हमारे पास वेटर की सोच को सही, और भूमि स्थित प्रेक्षक की सोच को गलत मानने का कोई कारण नहीं है। इसी बात को उल्टे ढंग से भी कहा जा सकता है। निश्चित तौर पर यदि आप भूमि स्थित प्रेक्षक हैं, तो आपको समय का यह अंतर महसूस नहीं होगा क्योंकि यदि ट्रेन के भोजनालय के दोनों छोरों पर भोजन के बाद काफी पी रहे यात्रियों के बीच 30 मीटर का फासला हो तो समय के रूप में यह अंतराल केवल 10^{-8} सेकेंड होगा और इतना सूक्ष्म अंतर हमारी इंद्रियों के लिए बोधगम्य नहीं है। यह अंतर प्रत्यक्ष तब होगा, जब ट्रेन की गति प्रकाश की गति के समीप पहुंच जाएगी।

काल (टाइम) अंतराल के दिक् (स्पेस) अंतराल में रूपांतरण अथवा इसकी उल्टी प्रक्रिया की जर्मन गणितज्ञ एच. मिंकोवस्की ने एक सीधी सी गणितीय व्यांख्या प्रस्तुत की थी। उसने यह विचार प्रस्तुत किया कि समय अथवा अवधि को तीन स्थानिक आयामों (x, y, z) का पूरक चौथा आयाम समझना चाहिए। और एक संदर्भित प्रणाली के दूसरी संदर्भित प्रणाली में रूपांतरण को इन निर्देशांकित प्रणालियों (को-आर्डिनेट्स) का इस चतुर्आयामी दिक् में चक्रण मानना चाहिए। कोई घटना इस चतुर्आयामी दिक् का एक बिंदु है, ऐसा मानने पर लंबाई-संकुचन और समय-विस्तार जैसे आपेक्षिक प्रभाव इन दिक्-काल निर्देशांको के चक्रण के परिणाम बन जाते हैं।

ये प्रभाव सापेक्ष हैं। एक-दूसरे के सापेक्ष गतिशील दोनों को दूसरा साथी अथवा गति की दिशा में कुछ चपटा नज़र आएगा और उसकी घड़ी धीमी लगेगी।

जार्ज गेमो एण्ड जॉन एम. क्लीवलैंड इन फिज़िक्स : फाउन्डेशन एण्ड फ्रन्टियर्स प्रेन्टिस हॉल ऑफ इंडिया (1966)

हमारे सहज विवेक के अनुसार, धरती के सापेक्ष गोली की रफ्तार 1.5 c यानी प्रकाश के वेग से 50 प्रतिशत अधिक होनी चाहिए। लेकिन यदि हम V =0.75 c और v =0.75 c को ऊपर दिए गए फार्मूले में स्थापित करें तो हम पाएंगे कि गोली की रफ्तार 0.96 c है जो अब भी प्रकाश की रफ्तार से कम ही है। यदि हम V और जीप के वेग v को e के बराबर कर दें तो हम पाएंगे कि $(c + c) / (1 + (c^2) / c^2) = c$

पहली नजर में ये परिणाम अचरज में डालने वाले लगते हैं। लेकिन दो गतियों के योग का आइंस्टीन का सूत्र सही है और प्रत्यक्ष प्रयोगों द्वारा प्रमाणित हो चुका है। आइंस्टीन का सापेक्षता का सिद्धांत हमें इस निष्कर्ष पर पहुंचाता है कि दो या दो से अधिक गतियों के योग से प्रकाश की गति को लांघ पाना असंभव है। भले ही वे गतियां प्रकाश की गति की गति से कितनी की करीब क्यों न हों। एक तरह प्रकाश की गति एक ब्रह्मांडीय गति सीमा की भूमिका निभाती है। किसी भी जतन से इसे लांघा नहीं जा सकता। सापेक्षता की धारणा सहज विवेक के कितनी ही प्रतिकूल क्यों न लगे, पर हमें याद रखना चाहिए कि आज तक इस सिद्धांत के जितने भी परीक्षण हुए हैं, उन सबसे इस बात की पुष्टि हुई है कि आइंस्टीन सही थे।

सापेक्षता का सामान्य सिद्धांत

अब हम संक्षेप में यह विवेचना करेंगे कि सापेक्षता का सामान्य सिद्धांत सापेक्षता के विशेष सिद्धांत से किस मायने में अलग है।

आश्चर्य की बात है कि प्रकाश - वैद्युत प्रभाव, ब्राउनी गति और सापेक्षता के विशेष सिद्धांत के बारे में अपने निबंध के प्रकाशन के बाद भी चार साल तक आइंस्टीन को अल्प आय वाले काम ही करने पड़े। यह स्थिति तब तक बरकरार रही, जब तक कि उन्हें ज्युरिख विश्वविद्यालय में एक स्थान नहीं मिल गया। मैक्स प्लैंक के प्रभाव के कारण सन् 1913 में बर्लिन के निकट स्थित कैसर विल्हेल्म इंस्टीट्यूट में आइंस्टीन के लिए एक पद सृजित किया गया। सन् 1905 में अपने निबंध के प्रकाशन के बाद से ही आइंस्टीन एक और व्यापक सिद्धांत; यानी सापेक्षता के सामान्य सिद्धांत पर काम कर रहे थे। सापेक्षता का विशेष सिद्धांत किसी वस्तु के सीधी रेखा में स्थिर गति से गतिशील होने की अवस्था में ही लागू होता था, पर यदि किसी वस्तु की गति तीव्र अथवा धीमी कर दी जाए अथवा उसका मार्ग सर्पिल अथवा वक्रिल कर दिया जाए तो क्या हो? सन् 1916 में उन्होंने अपने सापेक्षता के सामान्य सिद्धांत को प्रकाशित करवाया। इसका प्रभाव, विशेषकर ब्रह्मांडीय स्तर पर, अत्यंत व्यापक है। कई भौतिक विज्ञानी इस सिद्धांत को सर्वोत्कृष्ट सर्वकालिक बौद्धिक उपलब्धि मानते हैं।

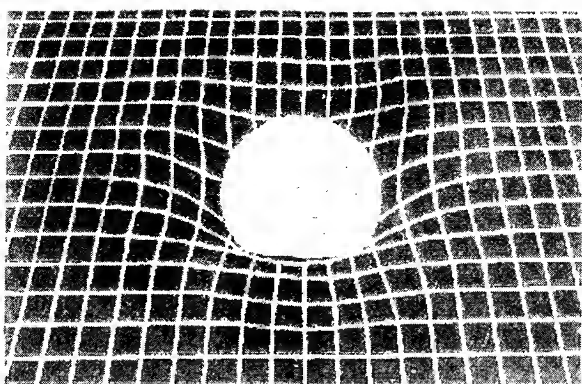
सामान्य सिद्धांत विशेष सिद्धांत की मान्यताओं को कायम रखते हुए उनमें गुरुत्वाकर्षण को समझने के एक नए तरीके को जोड़ता है क्योंकि त्वरण, अथवा अवत्करण का कारण एवं ग्रहों के इर्द-गिर्द उपग्रहों तथा सूर्य के इर्द-गिर्द ग्रहों के मार्ग को वक्रिल बनाने वाला कारक गुरुत्वाकर्षण बल ही है। आइंस्टीन ने महसूस किया कि गुरुत्वाकर्षण के प्रभाव और त्वरण के प्रभाव का अंतर बताने का कोई तरीका नहीं है। अतः उन्होंने गुरुत्वाकर्षण को एक बल मानकर विचार करना छोड़ दिया और उसे दिक् और काल में वस्तुओं की गतिशीलता के एक

सामान्य सापेक्षता और कृष्ण विवर (ब्लैक होल)

सामान्य सापेक्षता के समीकरण ने सन् 1917 में अपने शुद्ध स्वरूप में जैसे भविष्यवाणी की थी, ब्रह्मांड की उत्पत्ति और विकास का ठीक उसी रूप में विस्तार हो रहा हो। लेकिन आइंस्टीन ने बाद में स्वयं अपने सिद्धांत पर विश्वास करने से इन्कार कर दिया। इसमें संदेह नहीं कि आइंस्टीन के समीकरण में महाविस्फोट (बिग बैंग) की परिकल्पना के माध्यम ब्रह्मांड की उत्पत्ति और विकास की अति सफलतापूर्वक व्याख्या करने का आधार उपलब्ध कराया। सामान्य सापेक्षता का विस्तारशील ब्रह्मांड में ऐसे अपरिचित व्यवहार की व्याख्या करता है, जहां पर पदार्थ की उपस्थिति के कारण दिक् और काल अत्यधिक विकृत हो गये हों और जहां द्रव्यमान की विशाल मात्रा प्रबल गुरुत्वाकर्षण क्षेत्र उत्पन्न करती हों। जन सामान्य की कल्पनाशीलता को उत्तेजना प्रदान करने वाली इस परिघटना का चरम उदाहरण कृष्ण-विवर की परिघटना है। कृष्ण-विवर अपने गुरुत्वाकर्षणीय खिंचाव से प्रकाश को कैद कर लेता है। यदि सामान्य सापेक्षता की शब्दावली में इस स्थिति का वर्णन करें तो कहा जाएगा कि वह अपने चारों और दिक् और काल को इस तरह से झुका लेता है कि उसके आवरण में बंद होकर वह शेष ब्रह्मांड से असंबद्ध हो जाता है। यदि कोई तारा अपने द्रव्यमान को बरकरार रखते हुए अंदर की ओर सिकुड़ता जाए, अथवा अपना आकार बरकरार रखते हुए अपना द्रव्यमान - घनत्व बढ़ाता जाए तो परिणामस्वरूप उसके चारों ओर दिक्-काल की विकृति बढ़ती जाएगी और प्रक्रिया तब तक जारी रहेगी, जब तक कि उस पिण्ड का ध्वंस नही हो जाता और वह अपने चारों ओर दिक्-काल को लपेटकर अदृश्य नहीं हो जाता। ऐसे पिण्ड की पकड़ से प्रकाश भी बाहर नहीं आ सकता और इस तरह वह भी पूर्णश्याम पिंड, अथवा कृष्ण-विवर बन जाता है। इस तरह के खगोलीय श्याम पिंड की धारणा एक गणितीय खेल के अतिरिक्त और कुछ नहीं लगती थी। माना जाता था कि वास्तविक ब्रह्मांड में इसका अस्तित्व नहीं हो सकता। लेकिन सन् 1968 में तीव्र चक्रण गति वाले स्पंदनशील न्यूट्रान तारों की खोज से कृष्ण विवर की धारणा वास्तविकता में बदलती नजर आने लगी। कृष्ण विवरों के बारे में हमारी समझ काफी हद तक इस दौर के किंबदंती बन चुके भौतिक विज्ञानी स्टीफन हाकिंग के कामों पर आधारित है।

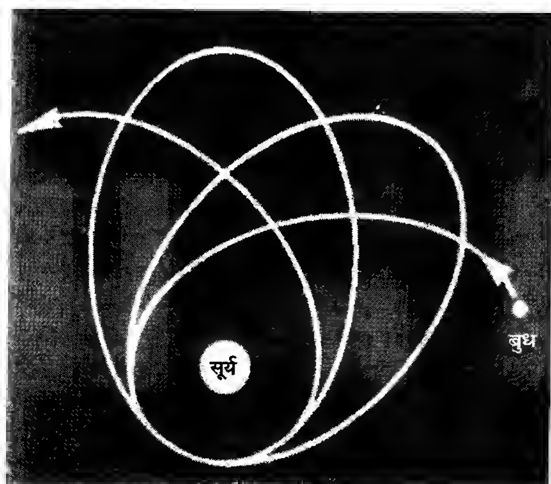
प्रभाव के रूप में देखना शुरू कर दिया। आइंस्टीन के सापेक्षता सिद्धांत के अनुसार, दिक् (स्पेस) के तीन आयामों ऊंचाई, लंबाई और चौड़ाई के साथ एक चौथा आयाम समय भी जुड़ता है और ये चारों आयाम मिलकर दिक्-काल सांतत्यक् (कांटिन्यूअम) का निर्माण करते हैं।

त्वरण और गुरुत्वाकर्षण मूलतः एक ही प्रभाव उत्पन्न करते हैं। इस तथ्य को दर्शाने के लिए आइंस्टीन ने इमारत की सबसे ऊपरी मंजिल से गिर रही टूटे तारों वाली लिफ्ट का उदाहरण लिया। लिफ्ट के गिरने की स्थिति में उस पर सवार लोगों पर भारहीनता का वैसा ही प्रभाव पड़ेगा, जैसी भारहीनता अंतरिक्ष यान पर सवार लोग अनुभव करते हैं। उस क्षण उन्हें पृथ्वी के चारों ओर निर्बाध गति से गिरने की अनुभूति होगी। अगर अंदर मौजूद लोग लिफ्ट के बाहर की कोई वस्तु न देख सकें तो वे इस अनुभव और पृथ्वी की कक्षा में उड़ान भर रहे अंतरिक्ष यान पर सवारी के अनुभव में कोई अंतर नहीं बता सकेंगे।

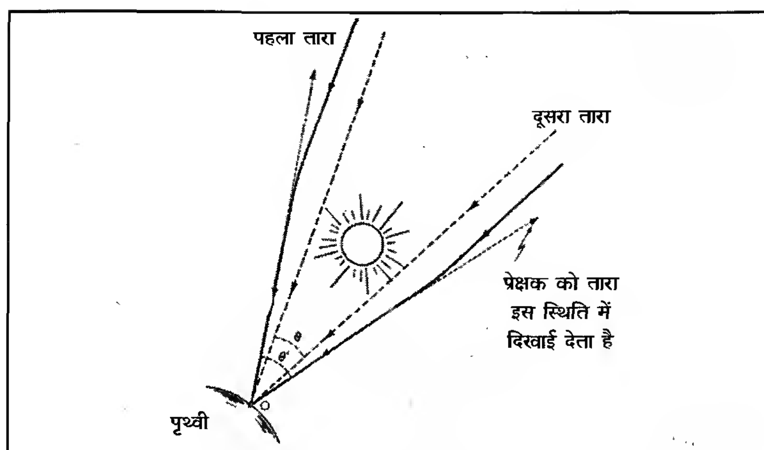


चित्र 4 : तनी हुई रबर की चादर पर जब कोई भारी वस्तु रखी जाती है तो वह चादर में सलवटें डाल देती है। सूर्य की उपस्थिति से दिक्–काल में भी उसी ढंग से सलवटें पड़ जाती हैं।

आइंस्टीन ने इस समतुल्यता का उपयोग ऐसे समीकरणों को प्रतिपादित करने के लिए किया, जिनमें गुरुत्वाकर्षण को एक बल नहीं, बल्कि दिक् और काल की वक्रता माना गया था। इस स्थिति कीइ तुलना रबर की किसी चादर पर स्थित दीर्घाकार पिंड के स्थित होने से की जा सकती है (चित्र 4)। जिस तरह रबर की चादर पर रखा हुआ कोई बड़ा बल चादर में धसकन या झोल उत्पन्न कर देता है, वैसे ही तारे की तरह का कोई बड़ा पिंड दिक्-काल को झुका देता है, अथवा तान देता है। दिक् और काल के आकार में द्रव्यमान के कारण हुई तोड़-मरोड़ को ही हम गुरुत्वाकर्षण कहते हैं। जिसे लोग गुरुत्वाकर्षण बल कहते हैं, वह दरअसल तारों या ग्रहों का गुणधर्म नहीं बल्कि स्वयं दिक् के आकार से सृजित होता है।



चित्र 5 : बुध की कक्षा की विचित्र आकृति की व्याख्या सामान्य सापेक्षता के सिद्धांत के आधार पर की गई।



चित्र 6 : तारे से आने वाला प्रकाश जब सूर्य के पास से गुजरता है तो उसमें होने वाला विचलन।

वस्तुतः यह वक्रता प्रयोगों के माध्यम से सिद्ध की जा चुकी है। आइंस्टीन ने तीन ऐसी भविष्यवाणियां की जिनमें सापेक्षता के सामान्य सिद्धांत और गुरुत्वाकर्षण के न्यूटनी सिद्धांत में टकराव था।

(1) जैसा कि चित्र 5 में दर्शाया गया है आइंस्टीन के सामान्य सापेक्षता सिद्धांत के अनुसार, किसी ग्रह की रवि-नीच (किसी ग्रह की कक्षा का सूर्य से निकटतम बिंदु) स्थिति में विचलन संभव है। बुध की कक्षा में इस तरह के विचलन ने खगोलविज्ञानियों को सालों से परेशान कर रखा था। सापेक्षता के सामान्य सिद्धांत ने इसका स्पष्टीकरण प्रस्तुत किया।

(2) अत्यंत तीव्र गुरुत्वाकर्षण क्षेत्र में प्रकाश में अभिरक्त विस्थापन (रेड शिफ्ट) दिखाई देगा। इसका कारण यह है कि प्रकाश को तारे से निकलने के लिए संघर्ष करना पड़ता है। खगोलज्ञों ने सूर्य की वर्णक्रम रेखाओं की कंपन आवृत्तियों एवं खगोलीय स्रोतों से उत्सर्जित वर्णक्रम रेखाओं की कंपन आवृत्तियों की तुलना करने पर पाया कि सूर्य के मामले में समस्त कंपन अवधियां 2×10^{-4} प्रतिशत लंबी हो गई है। (अथवा आवृतियों के घटने के कारण "अभिरक्त्त विस्थापन" उत्पन्न हो गया है)। यह मांन पूरी तरह आइंस्टीन के सिद्धांत की भविष्यवाणी के अनुरूप ही था। परिणामस्वरूप, प्रेक्षित वर्णक्रम लाल वर्णक्रम रेखा की ओर विचलित होता नजर आता है और परिणामस्वरूप पृथ्वी से अभिरक्त गुरुत्वीय विस्थापन विचलन दिखाई देता है।

(3) गुरुत्वाकर्षणीय क्षेत्र के कारण प्रकाश में न्यूटन की भविष्यवाणी की तुलना में अधिक विचलन होगा (चित्र 6)। 29 मार्च, 1919 को ब्राजील और पश्चिम अफ्रीका के समुद्री किनारे पर एक पूर्ण सूर्यग्रहण दिखा। दिन के समय अंधकारयुक्त हो गए आकाश में निकटवर्ती तारों के प्रकाश को मापा गया और उसकी तुलना छह महीने पहले मध्यरात्रि में मापे गए उन्हीं तारों के प्रकाश से की गई, उस समय वे तारे सूर्य के समीप नहीं थे। तारों के प्रकाश के विचलन के बारे में की गई भविष्यवाणी का परीक्षण किया गया और आइंस्टीन

सही साबित हुए। वह जल्दी ही संसार के सबसे प्रसिद्ध वैज्ञानिक बन गए, और उनके नाम से घर-घर के लोग परिचित हो गए।

सर्वदा एक उत्प्रेरक

विज्ञान के हर क्षेत्र के लिए पालने की भूमिका निभाने वाला जर्मनी वहां काम करने वाले अनेक ख्यातिप्राप्त वैज्ञानिकों के लिए दिन-ब-दिन अधिक असहिष्णु होता गया। विशेषकर आइंस्टीन जैसे लोगों के लिए परेशानियां बढ़ती गईं क्योंकि नाजी उन्हें यहूदी होने के कारण खास तौर पर निशाना बना रहे थे। 1930 के दशक में अनेक वैज्ञानिकों ने जर्मनी छोड़ दिया। उनमें सैद्धांतिक आधार पर देश छोड़ने वाले अनेक गैरयहूदी वैज्ञानिक भी शामिल थे। वे लोग ऐसी जगह पर काम नहीं करना चाहते थे, जहां उनके सहकर्मियों को उत्पीड़ित किया जा रहा हो। सन् 1930 में आइंस्टीन ने भले के लिए ही जर्मनी छोड़ दिया। वह कैलिफोर्निया इंस्टीट्यूट आफ टेक्नालॉजी में व्याख्यान देने के लिए अमरीका गए और फिर कभी जर्मनी नहीं लौटे। उन्होंने प्रिस्टन न्यूजर्सी के इंस्टीट्यूट आफ एडवांस्ड स्टडी में एक पद स्वीकार कर लिया और वहां स्थायी रूप से काम करने लगे। सन् 1940 में वह अमेरिकी नागरिक बन गए। अपने सहयोगियों के गंभीर चिंतन-मनन में आइंस्टीन हमेशा उत्प्रेरक का काम करते रहे। वह भौतिकी की दुनिया में पूरी उम्र सक्रिय रहे लेकिन अपने देश को त्याग देने वाले इस वैज्ञानिक के लिए भी मैक्स प्लैंक की तरह ही भौतिकी के संसार के परिवर्तन की गति इतनी तीव्र थी कि वह उसे स्वीकार नहीं कर पा रहा था। नील्स बोर के पूरकता (कांप्लिमेंटरिटी) के सिद्धांत और वर्नर हाइजेन बर्ग के अनिश्चितता का सिद्धांत जैसी मान्यताओं के कारण क्षितिज पर ऐसे परिवर्तनों का अक्स उभर रहा था जिन्हें वह कभी स्वीकार नहीं कर पाए। ऐसे सिद्धांतों के बारे में आइंस्टीन भुनभुनाते हुए कहते थे - "भगवान विश्व के साथ पासा नहीं खेलता", अथवा, "ईश्वर चालाक हो सकता है, पर उसमें दुर्भावना नहीं है।" अपने जीवन के अंतिम दशकों में आइंस्टीन का अधिकांश समय गुरुत्वाकर्षण और विद्युत-चुंबकीय परिघटना के एकीकरण का सूत्र ढूढ़ने में बीता। इसमें उन्हें कभी सफलता नहीं मिली। इसके बावजूद अपने अंतिम दिनों में वह एकाकी प्रश्नकर्ता सत्य के चरम सौंदर्य की तलाश में प्रकृति और मानवता के समक्ष अपने प्रश्न प्रस्तुत करता रहा।

आइंस्टीन को सन् 1921 में भौतिकी का नोबेल पुरस्कार मिला। लेकिन यह पुरस्कार सापेक्षता के लिए नहीं, बल्कि प्रकाश-वैद्युत प्रभाव की व्याख्या के लिए दिया गया था। यह "सैद्धांतिक भौतिकी में उनके योगदान और विशेषकर प्रकाश वैद्युत प्रभाव के नियमों की खोज के लिए" दिया गया था।

सापेक्षता - कोई चुनौती?

यह सही है कि सापेक्षता के सिद्धांत को समय-समय पर सैद्धांतिक और व्यावहारिक स्तर पर चुनौतियां दी जाती रही हैं। लगभग तीन दशक पहले हमारे देश के ही वैज्ञानिक ई.सी. जी. सुदर्शन ने एक भिन्न क्षेत्र में प्रकाश से भी अधिक रफ्तार वाली "टैकिओंस" नामक

कणिका का अस्तित्व संभव बताया था। इन कणिकाओं की रफ्तार प्रकाश की रफ्तार से कम हो ही नहीं सकती। उल्लेखनीय है कि ऐसी कणिकाएं किसी सूचना की संवाहक नहीं हो सकतीं।

निर्वात में प्रकाश की गति की निरंतरता को भी चुनौती दी जाती रही है। हाल ही में इटली के भौतिक विज्ञानियों के एक दल द्वारा की गई माप से ऐसे संकेत मिले हैं कि वे सूक्ष्म तरंगों (माइक्रोवेव) को एक मीटर से अधिक दूरी तक प्रकाश के स्पंदन से भी तीव्र गति से भेज सकते हैं। आइंस्टीन के सिद्धांत के अनुसार समय इस तरह आगे बढ़ता है, मानों प्रकाश-पुंज पर सवार हो। यदि कोई पदार्थ प्रकाश की रफ्तार से भी तेज चले तो वह पीछे के समय में लौट आएगा। इस तरह वह कार्य-कारण सिद्धांत की अवहेलना कर देगा, जिसके अनुसार कारण हमेशा प्रभाव से पहले अस्तित्वमान रहता है। इस सिद्धांत के विकल्प की निरर्थकता आगे दी हुई तुकबंदी से बहुत अच्छी तरह प्रकट होती है :

कभी एक युवती थी, जिसका नाम था ब्राइट
उसकी रफ्तार से मात खा जाती थी लाइट
कभी निकली वह दिन में
एक सापेक्ष रास्ते से
और वापस लौटी वह, पिछले दिन की नाइट

संदर्भ

1. कांसेप्ट्स आफ माडर्न फिजिक्स, आर्थर बेज़र, मैकग्रा-हिल बुक कंपनी सन् 1967

   यह एक मानक पाठ्य-पुस्तक है। इसमें आधुनिक भौतिकी की अवधारणाओं को सरल, स्पष्ट और बोधगम्य तरीके से व्याख्यायित किया गया है।

2. द हिस्ट्री आफ साइंस फ्राम 1895 टू 1945, रे स्पैंजरबर्ग एंड डायने के. मोसेर, युनिवर्सिटी प्रेस (इंडिया) लि., सन् 1999

   अति पठनीय पुस्तक है। पांच खंडों की इस पुस्तक शृंखला में प्राचीन यूनानियों के समय से 1990 के दशक तक का विज्ञान का इतिहास है।

3. मि. टांपकिंस इन पेपर बैक, जार्ज गैमो, कैंब्रिज विश्वविद्यालय प्रेस, सन् 1965

   यह एक उत्कृष्ट स्तर के विज्ञान प्रचारक और वैज्ञानिक की उत्कृष्ट कृति है। यह मि. टांपकिंस इन वंडर लैंड और मि. टांपकिंस एक्सप्लोर्स द ऐटम का सम्मिलित रूप है और अत्यंत रोचक पुस्तक है।

4. फिजिक्स : फाउंडेशन एंड फ्रांटियर्स, जार्ज गैमो एंड जान एम. क्लीवलैंड, प्रेंटिस हाल आफ इंडिया, सन् 1966

   इसमें भौतिकी के बुनियादी सिद्धांतों को प्रारंभिक स्तर पर बहुत ही सुंदर ढंग से व्याख्यायित किया गया है।

5. आब्जर्वेशन आफ सुपर न्युमिनल बिहेवियर इन वेव प्रोपोगेशन, मगनई, डी., रैफगनी ए., और रगेरी, आर, फिजिकल रिव्यु लेटर्स 84 (2000) 4830

इस लेख में संकेत दिया गया है कि प्रकाश से भी तीव्र स्पंदन संभव है और इस तरह निर्वात में प्रकाश की रफ्तार की निरंतरता को चुनौती दी गई है।

6. द फेनमैन लेक्चर्स आन फिजिक्स (खंड एक), रिचर्ड पी. फैनमैन रोबर, बी. लेइटन और मैथ्यू सैंड्स, ऐडिसन-वेसले पब्लिशिंग कंपनी, सन् 1963
तीन खंडों की इस पुस्तक शृंखला में नोबेल पुरस्कार विजेता रिचर्ड पी. फेनमैन द्वारा कैलिफोर्निया इंस्टीट्यूट आफ टेक्नालॉजी के पूर्वस्नातकों के समक्ष दिए गए व्याख्यानों का संकलन है। विलक्षण पुस्तक है।

7. ए.बी.सी. आफ रिलेटिविटी, बर्ट्रेंड रसेल, संशोधित संस्करण, फेलिक्स पिरानी द्वारा संपादित) जार्ज एलेन एंड अनविन लि., सन् 1958।
यह किताब सन् 1927 में प्रकाशित हुई थी, लेकिन आज की तारीख तक इसका शास्त्रीय महत्व है।

8. द ट्विन पैराडाक्स, इन द नाइट इज लार्ज - कलेक्टेड एसेज (1938-1995), लेखक, मार्टिन गार्डेनर, पेंगुइन बुक्स, सन् 1996
एक पत्रकार और लेखक द्वारा लिखित मनोरंजक लेख। वह साइंटिफिक अमेरिकन में प्रकाशित होने वाले गणित संबंधी मनोरंजक कालम और इसी विषय पर लिखी गई कई अन्य पुस्तकों के लिए प्रसिद्ध हैं।

9. द क्लाक पैराडाक्स, लेखक - जे ब्रोनोवस्की, साइंटिफिक अमेरिकन, जनवरी, सन् 1963
बोधगम्य शैली में लिखित अत्यंत शिक्षाप्रद लेख।

10. डिक्शनरी आफ साइंटिफिक बायोग्राफी, खंड चार, प्रधान संपादक - चार्ल्स कांउन्स्टन गिलिस्पी, चार्ल्स स्क्राइब्र्स संस, सन् 1975, न्यूयार्क।
14 खंडों की यह पुस्तक शृंखला जानकारियों का एक बेहतरीन स्रोत है।

11. ए ब्रीफ हिस्टी आफ टाइम : फ्राम द बिगबैंग टू ब्लैक होल्स, स्टीफेन हाकिंग्स, बैंटैम बुक्स, सन् 1988।
खगोल-भौतिकी एवं सामान्य सापेक्षता के सिद्धांत के उपयोगों से संबंधित यह पुस्तक आम पाठकों के लिए संभवतः सर्वश्रेष्ठ है।

12. इंट्रोडक्शन टू कास्मोलॉजी, दूसरा संस्करण, जे.वी. नार्लिकर, कैंब्रिज युनिवर्सिटी प्रेस, सन् 1993
यह पूर्व स्नातक स्तर पर आधुनिक ब्रह्मांड विज्ञान के बारे में जानकारी देने वाली परिचयात्मक पुस्तक है।

13. http://www.nobel.se
नोबेल फाउंडेशन की आधिकारिक बेबसाइट। यह नोबेल पुरस्कार विजेताओं से संबंधित जानकारियों का खजाना है।

सापेक्षता और/अथवा उसके उपयोग से संबंधित कार्यों के लिए दिये गए नोबेल पुरस्कार

यहां पर सापेक्षता और/अथवा उसके उपयोग से संबंधित कार्यों के लिए दिये गए नोबेल पुरस्कारों की सूची दी गई है

सन् 1902	हेंड्रिक एंटून लोरेंट्ज	द नीदरलैंड	विकिरण की परिघटना पर चुंबकत्व के प्रभाव के बारे में अनुसंधान के माध्यम से दिए गए असाधारण योगदान
सन् 1097	अलबर्ट अब्राहम माइकेल्सन	अमेरिका	अपने सटीक प्रकाशीय उपकरणों और उनके माध्यम से किए गए वर्णकर्मी और मौसम सम्बंधी अध्ययनो के लिए
सन् 1927	आर्थर होली कांप्टन	अमरीका	उसके नाम पर नामित प्रभाव की खोज के लिए
सन् 1933	पौल एड्रिसन मौरिस डिराक	ग्रेट ब्रिटेन	परमाणु सिद्धांत के नए उत्पादक रूपों की खोज के लिए
सन् 1938	एनरिको फर्मी	इटली	न्यूट्रानों के किरणन के माध्यम से उत्पादित नए रेडियो धर्मी तत्वों का अस्तित्व दर्शाने के लिए, और कुछ धीमी गति के न्यूट्रानों के जरिए होने वाली संबंधित नाभिकीय अभिक्रियाओं की खोज के लिए
सन् 1969	मरे गेलमान	अमरीका	प्राथमिक कणिकाओं और उनकी पारस्परिक क्रियाओं के वर्गीकरण से संबंधित उसकी खोजों और योगदान के लिए
सन् 1974	सर मार्टिन रिले	ग्रेट ब्रिटेन	खगोल भौतिकी से संबंधित उसके अग्रणी अनुसंधान कार्यों, प्रेक्षणों और अनुसंधानों, विशेषकर उसकी छिद्र संश्लेषण तकनीक के लिए

सन् 1983	एंटोनी हेविस सुब्रह्मण्यम चन्द्रशेखर	ग्रेट ब्रिटेन अमरीका	स्पंदकों की खोज में उसकी निर्णायक भूमिका के लिए (भौतिकी में) तारों की संरचना और उनके विकास से संबंधित महत्वपूर्ण भौतिक प्रक्रिया के सैद्धांतिक अध्ययनों के लिए
सन् 1984	कार्टो रुबिका	इटली	दुर्बल पारस्परिक क्रियाओं को संचारित करने वाली क्षेत्र कणिकाओं W और Z की खोज को संभव बनाने वाली विशाल परियोजना में उनके निर्णायक योगदान के लिए
	सियोन वान डर मीर	नीदरलैंड	- वही -
सन् 1993	रसेल ए. हल्स	अमरीका	एक नए ढंग के स्पंदक की खोज के लिए, इस खोज ने गुरुत्वाकर्षण के अध्ययन के लिए नई संभावनाओं का द्वार खोल दिया
	जोसेफ एच. टेलर जूनियर	अमरीका	- वही -

नोट : उल्लेखनीय है कि सापेक्षता के सिद्धांत के जन्मदाता अलबर्ट आइंस्टीन को इस सिद्धांत के प्रतिपादन के लिए नोबेल पुरस्कार नहीं मिला। उन्हें यह पुरस्कार सैद्धांतिक भौतिकी, विशेषकर प्रकाश–वैद्युत प्रभाव से संबंधित नियमों की खोज के लिए दिया गया।

सापेक्षता शब्दावली

यहां सापेक्षता के संदर्भ में प्रयुक्त होने वाले कुछ शब्दों को दिया जा रहा है। आवश्यक नहीं है कि प्रस्तुत लेख में इन शब्दों का प्रयोग किया गया हो।

परम शून्य : $-273.16^{0}C$ अथवा $-459.69^{0}F$ अथवा $0\,k$ तापमान, समझा जाता है कि इस तापमान पर अणविक गतियां शून्य हो जाती हैं और पिंड में तापीय ऊर्जा नहीं रह जाती।

रवि–उच्च : ग्रहीय कक्षा का सूर्य से दूरस्थ बिंदु।

कृष्ण–विवर : कृष्ण-विवर (ब्लैक होल) एक ध्वस्त पिंड, (जैसे कि कोई तारा) होता है। यह अदृश्य होता है। पिंड का समस्त ताप-नाभिकीय ईंधन समाप्त हो जाने के बाद उसका अपना ही गुरुत्वाकर्षण बल उसे कुचल देता है। इसका गुरुत्वाकर्षण बल इतना प्रबल होता है कि इसकी सतह से कोई भी वस्तु, यहां तक कि प्रकाश भी पलायन नहीं कर सकता। यह अदृश्य तो होता है, पर अपने संपर्क में आने वाली वस्तु या प्रकाश को ले लेता है।

ब्रह्मांडीय स्थिरांक : यह गुणक स्थिरांक है। आइंस्टीन के समीकरण में यह दुरीक (मैट्रिक) के समानुपाती है तथा दिक् की वक्रता का संबंध ऊर्जा-संवेग प्रदिश (टेंसर) से स्थापित करता है।

ब्रह्मांड–विज्ञान : विज्ञान की इस शाखा के अंतर्गत संपूर्ण भौतिक विश्व की संरचना का अध्ययन किया जाता है।

दिक्–वक्रता : वक्रिल दिक्-काल के दिक् समान त्रिआयामी उपदिक् (सबस्पेस) का यूक्लिडियाई रेखागणित से विचलन।

वक्रिल दिक्–काल : एक चतुर्आयामी दिक्; इसमें कोई सरल रेखा नहीं होती, बल्कि केवल वक्र होते हैं। सापेक्षता के सिद्धांत में यह मिंकोवस्की-ब्रह्मांड का व्यापकीकरण है।

तुल्यता का सिद्धांत : सापेक्षता के सामान्य सिद्धांत में निहित यह सिद्धांत कि किसी गुरुत्वाकर्षण क्षेत्र के प्रेक्षण योग्य स्थानीय प्रभावों को निर्देश प्रणाली से उत्पन्न होने वाले त्वरण के प्रभावों से अलग नहीं किया जा सकता। इसे आइंस्टीन का तुल्यता सिद्धांत, अथवा तुल्यता का सिद्धांत भी कहते हैं।

घटना : दिक्-काल में एक बिंदु।

फिट्जेराल्ड–लोरेंट्ज़ संकुचन : *किसी गतिशील पिंड की गति जब प्रकाश की गति से* तुलना योग्य हो जाती है तो पिंड में गति की दिशा में संकुचन होता है, इसे लोरेंट्ज प्रभाव अथवा लोरेंट्ज-फिट्जेराल्ड प्रभाव भी कहते हैं।

चार–सदिश : चार परिमाणों का ऐसा समूह, जो लोरेंट्ज प्रभाव के अंतर्गत ठीक उसी ढंग से बदलता है, जिस तरह किसी घटना के तीन दिक् निर्देशांक (कोआर्डिनेट) और समय निर्देशांक बदलता है। इन्हें लारेंट्ज के चार सदिश भी कहते हैं।

चतुर्वेग : चार सदिशों का समूह; किसी कणिका के उपयुक्त समय के सापेक्ष कणिका के दिक्-काल निर्देशांकों में परिवर्तन की रफ्तार उनकी अवयव होती है।

अल्पांतरी : रियानी विविधता में दो बिंदुओं पर संयुक्त होने वाला वक्र, इसकी लंबाई न्युनतम होती है।

गुरुत्वीय : ब्रह्मांड के समस्त द्रव्यमान में व्याप्त पारस्परिक आकर्षण। इसे गुरुत्वाकर्षणी आकर्षण भी कहते हैं।

गुरुत्वीय धवंस : किसी तारे अथवा अन्य खगोलीय पिंड का अपने मूल आकार से सैकड़ों अथवा हजारों गुना सिमट जाने के बाद होने वाला अंतःस्फोटन।

गुरुत्वाकर्षणी स्थिरांक : न्युटन के गुरुत्वाकर्षण नियमों में आनुपातिकता का स्थिरांक। यह दो कणिकाओं के बीच लगने वाले गुरुत्वाकर्षण बल और उनकी बीच की दूरी के गुणनफल को उन कणिकाओं के द्रव्यमान के गुणनफल से विभाजित करने से प्राप्त मान के बराबर होता है। इसे गुरुत्वाकर्षण का स्थिरांक भी कहते हैं।

गुरुत्वाकर्षण क्षेत्र : दिक् (स्पेस) में किसी स्थान पर अस्तित्वमान ऐसा क्षेत्र, जिसमें कोई परीक्षणीय कणिका गुरुत्वाकर्षण बल का अनुभव करती है। मात्रात्मक दृष्टि से यह किसी निश्चित बिंदु पर कणिका के प्रति इकाई द्रव्यमान पर लगने वाला गुरुत्वाकर्षण बल होता है।

गुरुत्वाकर्षण–क्षेत्र सिद्धांत : इस सिद्धांत में गुरुत्वाकर्षण को एक निश्चित दूरी पर तत्काल कार्य करने वाला बल नहीं, बल्कि एक क्षेत्र माना जाता है।

गुरुत्वीय विकिरण : सामान्य सापेक्षता के सिद्धांत द्वारा भविष्यवाचित (प्रिडिक्टेड) एक प्रसारणशील गुरुत्वाकर्षण क्षेत्र, यह द्रव्य के वितरण में किसी परिवर्तन के कारण सृजित होता है। यह प्रकाश की रफ्तार से यात्रा करता है और अपने मार्ग में आने वाले द्रव्यमान पर बल आरोपित करता है। इसे गुरुत्वाकर्षण तरंग भी कहते हैं।

गुरुत्वीय अभिरक्त विस्थापन : वर्णक्रम रेखाओं का वर्णक्रम के लाल हिस्से की ओर विचलन; यह स्थिति तब उत्पन्न होती है जब प्रकाश के स्रोत की तुलना में उसके प्रेक्षक पर लगने वाला गुरुत्वाकर्षण विभव (पोटेंशियल) अधिक होता है।

गुरुत्वाकर्षण तरंग : सामान्य सापेक्षता द्वारा भविष्यवाचित प्रसारणशील गुरुत्वाकर्षण क्षेत्र, यह द्रव्य के वितरण में किसी प्रकार के परिवर्तन के कारण उत्पन्न होता है। यह प्रकाश की गति से मात्रा करता है और मार्ग में आने वाले प्रत्येक पदार्थ पर बल आरोपित करता है। इसे गुरुत्वाकर्षणी विकिरण भी कहते हैं।

गुरुत्वाकर्षण : सैद्धांतिक स्तर पर निगमित (डिड्यूश्ड) कणिका, इसे गुरुत्वाकर्षण क्षेत्र का क्वांटम माना जाता है। इसके विराम द्रव्यमान (रेस्टमास) और आवेश का मान शून्य तथा चक्रण का मान दो माना जाता है।

गुरुत्व : किसी भी ग्रह अथवा खगोलीय पिंड की सतह पर उपस्थित गुरुत्वाकर्षणी आकर्षण।

लोरेंट्स–फिट्जेराल्ड संकुचन : किसी गतिशील पिंड की गति जब प्रकाश की गति से तुलना योग्य हो जाती है तो पिंड में गति की दिशा में संकुचन पैदा होता है। इसे लोरेंट्ज संकुचन, अथवा फिट्जेराल्ड-लोरेंट्स संकुचन भी कहते हैं।

लोरेंट्स–चतुर्सदिश : चार परिमाणों का ऐसा समूह, जो लोरेंट्स प्रभाव के अंतर्गत ठीक उसी ढंग से बदलता है, जिस तरह किसी घटना के तीन दिक् निर्देशांक और समय निर्देशांक बदलता है। इन्हें लोरेंट्स के चार सदिश भी कहते हैं।

लोरेंट्स प्रणाली (फ्रेम) : जड़त्व निर्देशांक प्रणालियों का कोई भी ऐसा वर्ग, जिसमें तीनों दिक् निर्देशांक, और एक समय निर्देशांक हो; सापेक्षता के सिद्धांत में इसे इस रूप में प्रयोग किया जाता है कि प्रत्येक निर्देश की अन्य लारेंट्ज प्रणालियों की तुलना में समान गति होती है और सभी प्रणालियों में दो घटनाओं के बीच का अंतराल समान होता है।

लोरेंट्स निश्चर (इनवैरिएंस) : भौतिकी के नियमों और कुछ भौतिक परिणामों का लोरेंट्स प्रणाली में एक समान बने रहने का गुण; इस तरह ये लारेंट्ज रूपांतरण के दौरान अपरिवर्तित रहते हैं।

लोरेंट्स रूपांतरण : लारेंट्ज निर्देशनों के दिक् और काल परिवर्तियों को संबद्ध करने के लिए सापेक्षता के विशेष सिद्धांत में प्रयुक्त किए जाने वाले गणितीय रूपांतरणों का कोई भी वर्ग।

द्रव्यमान–ऊर्जा संरक्षण : इस सिद्धांत के अनुसार, ऊर्जा को सृजित अथवा विनष्ट नहीं किया जा सकता; लेकिन ऊर्जा का एक रूप वह भी है जो किसी कणिका में उसके विराम द्रव्यमान के कारण निहित होता है। यह कणिका के द्रव्यमान और प्रकाश की गति के वर्ग के गुणनफल के बराबर होता है।

द्रव्यमान–ऊर्जा संबंध : इस संबंध के अंतर्गत किसी पिंड की कुल ऊर्जा उसके जड़त्व द्रव्यमान और प्रकाश की गति के वर्ग के गुणनफल के बराबर होती है।

मिंकोवस्की ब्रह्मांड : X, Y, Z, ict - इन चार निर्देशांकों द्वारा व्याख्यायित दिक्-काल; यहा पर t प्रकाश के वेग c की कल्पित इकाई है; दिक्-काल के लोरेंट्ज रूपांतरण वस्तुतः मिंकोवस्की विश्व के लंबकोणीय रूपांतरण हैं। इसे मिंकोवस्की ब्रह्मांड भी कहते हैं।

न्युट्रान तारा : माना जाता है कि इस तरह के तारे का अस्तित्व उसके तारकीय विकास की अंतिम अवस्था में ही संभव है। इसका द्रव्यमान अत्यंत सघन होता है और वह मुख्यतः न्युट्रानों से बना होता है। इसका गुरुत्वाकर्षण इतना प्रबल होता है कि केवल न्यूट्रिनो और उच्च ऊर्जा युक्त फोटान ही इसकी सतह से बाहर आ सकते हैं। इसीलिए ये तारे अदृश्य होते हैं।

रविनीच : किसी ग्रह की कक्षा का सूर्य से निकटतम बिंदु।

सहप्रसरण (कोवैरिएंस) का सिद्धांत : शास्त्रीय भौतिकी और विशेष सापेक्षता में यह सिद्धांत निहित है कि सभी जड़त्वीय निर्देश प्रणालियों में भौतिकी के नियम एक सा ही आकार ग्रहण करते हैं।

तुल्यता का सिद्धांत : सामान्य सापेक्षता में यह सिद्धांत निहित है कि किसी गुरुत्वाकर्षणीय क्षेत्र के प्रेक्षणीय स्थानीय प्रभावों को निर्देशन प्रणाली के त्वरण से उत्पन्न होने वाले प्रभावों से अलग नहीं किया जा सकता। इसे आइंस्टीन का तुल्यता सिद्धांत अथवा तुल्यता सिद्धांत भी कहते हैं।

स्पंदक : यह परिवर्तनशील तारा होता है। चूंकि यह तारा फैलता और सिकुड़ता रहता है अतः इसकी दीप्ति की तीव्रता भी कम-अधिक होती रहती है। समझा जाता है कि विकिरण ऊर्जा के गुरुत्वीय ऊर्जा में, और गुरुत्वीय ऊर्जा के पुनः विकिरण ऊर्जा में समय-समय पर रूपांतरण के कारण ही इसकी चमक में परिवर्तन आता रहता है।

स्पंदनशील तारा : ऐसा तारा, जिसके फैलने और सिकुड़ने के कारण उसकी चमक में अंतर आता रहता है। समझा जाता है कि इस परिवर्तन की वजह विकिरण ऊर्जा का गुरुत्वीय ऊर्जा, और गुरुत्वीय ऊर्जा के पुनः विकिरण ऊर्जा में समय-समय पर होने वाला रूपांतरण है।

अर्धक (क्वास्टर) : यह अर्ध तारकीय खगोलीय पिंड अक्सर रेडियो स्रोत होता है। सभी अर्धकों में अत्यधिक अभिरक्त विस्थापन होता है। प्रकाशीय व्यास कम होने के बावजूद इसका रेडियो व्यास अधिक हो सकता है। इन्हें अर्ध तारकीय पिंड (क्वासी स्टेलर आब्जेक्ट - क्यू.एस.ओ.) भी कहते हैं।

सापेक्ष : किसी गतिशील बिंदु से संबंध; जैसे सापेक्ष वायु, सापेक्ष गति।

सापेक्ष संवेग : किसी पिंड का निर्देश प्रणाली में संवेग, जिसमें कोई अन्य निश्चित पिंड भी स्थित हो।

सापेक्ष गति : किसी ऐसी निर्देशन प्रणाली में, दूसरे स्थित पिंड के, उसके सापेक्ष किसी पिंड की स्थिति में होने वाला निरंतर परिवर्तन।

आपेक्षिकीय पुंज : कणिकाओं का ऐसा पुंज, जो प्रकाश से तुलना करने योग्य गति से यात्रा करता हो।

आपेक्षिकीय वैद्युत–गतिकी : कणिकाओं का वेग प्रकाश के वेग से तुलना योग्य हो जाने की स्थिति में आवेशित कणों और विद्युत-चुंबकीय क्षेत्रों की पारस्परिक क्रिया का अध्ययन।

आपेक्षिकीय शुद्ध गतिकी : गति के कारणों का संदर्भ दिए बिना सापेक्षता के विशेष सिद्धांत की संगतता में कणिकाओं की गति का वर्णन।

आपेक्षिकीय द्रव्यमान : प्रकाश की गति के लगभग दसवें भाग से अधिक गति से गतिशील कणिका का द्रव्यमान उसके विराम द्रव्यमान से उल्लेखनीय ढंग से अधिक होता है।

आपेक्षिकीय यांत्रिकी : सापेक्षता के सामान्य तथा विशेष सिद्धांत से संगति रखने वाला यांत्रिकी का कोई रूप।

आपेक्षिकीय कणिका : प्रकाश की रफ्तार से तुलना योग्य रफ्तार से गतिशील कोई कणिका।

आपेक्षिकीय क्वांटम सिद्धांत : सापेक्षता के विशेष सिद्धांत से संगति प्रदर्शित करने वाला कणिकाओं का क्वांटम सिद्धांत; इस प्रकार यह सिद्धांत प्रकाश की गति की समीप गति से अग्रसर कणिकाओं का वर्णन कर सकता है।

आपेक्षिकता सिद्धांत : सापेक्षता के सामान्य अथवा विशेष सिद्धांत से संगति प्रदर्शित करने वाला कोई भी सिद्धांत।

सापेक्षता : भौतिकी का वह सिद्धांत, जो प्रकाश की गति की प्रसारणशीलता के ब्रह्मांडीय चरित्र को स्वीकार करता है और परिणामस्वरूप दिक्, काल एवं अन्य यांत्रिकी मापों को मापन करने वाले प्रेक्षण की गति पर निर्भर मानता है। इस सिद्धांत के दो मुख्य भाग हैं - विशेष सिद्धांत और सामान्य सिद्धांत।

घड़ियों का धीमा होना : सापेक्षता के विशेष सिद्धांत के अनुसार, किसी घड़ी के सापेक्ष स्थिर प्रेक्षक की तुलना में किसी घड़ी के सापेक्ष गतिशील प्रेक्षक को घड़ी धीमी गति से चलनी लगेगी।

दिक् स्थिरांक : कार्तीय स्थिरांकों की एक त्रिआयामी प्रणाली जिसके माध्यम से किसी बिंदु की तीन धरातलों से दूरी का निर्धारण तीन परिणामों द्वारा किया जाता है। ये धारातल एक बिंदु पर एक-दूसरे को काटते हैं।

दिक् सदृश्य धरातल : एक चतुर्आयामी दिक्-काल में स्थित त्रिआयामी धरातल। इसमें यह गुण निहित होता है कि इसके धरातल पर स्थित किसी घटना का किसी अन्य घटना के अतीत और भविष्य से कोई संबंध नहीं होता।

दिक् सदृश्य सदिश : मिंकोवस्की विश्व में स्थित चार सदिश राशियां, इनके दिक् अवयव का परिमाण, समय अवयव के परिमाण और प्रकाश की गति के वर्ग को गुणा करने से प्राप्त फल से अधिक होता है।

दिक्–काल : सापेक्षता सिद्धांत में प्रयुक्त किया जाने वाला चतुर्आयामी दिक्। इसके तीन आयाम सामान्य दिक् (स्पेस) से और चौथा काल से संबद्ध होता है। इसे दिक्-काल सांतत्यक भी कहते हैं।

विशेष सापेक्षता : यह सापेक्षता सिद्धांत का एक अंग है। इसका संबंध स्थिर सापेक्ष वेग से गतिशील प्रेक्षकों से होता है। इसके अंतर्गत कल्पना की गई है कि सभी प्रेक्षकों के लिए प्राकृतिक नियम समान होते हैं।

समय–विस्तारण प्रभाव : सापेक्षता के विशेष सिद्धांत के अनुसार, घड़ी के सापेक्ष गतिशील प्रेक्षक को घड़ी के सापेक्ष स्थिर प्रेक्षक की तुलना में घड़ी अपेक्षाकृत धीमी गति से चलती (टिक-टिक करती) लगती है।